

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉVALUATION DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE CHEZ LES ENFANTS SAINS ET AVEC  
LA PARALYSIE CÉRÉBRALE JOUANT À LA WII(TM)

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

MAXIME ROBERT

DÉCEMBRE 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES .....	ii
LISTE DES FIGURES .....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES .....	v
RÉSUMÉ.....	vi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1	
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	3
1.1 Définition de la paralysie cérébrale.....	3
1.2 L'étiologie .....	4
1.3 Atteintes.....	5
1.4 Les impacts fonctionnels .....	7
1.5 Activité physique.....	8
1.6 Réalité virtuelle et jeux vidéo actifs .....	10
1.6.1 Wii™ et niveau d'intensité de l'exercice .....	13
1.6.2 Wii™ en réadaptation.....	15
MÉTHODOLOGIE .....	18
1.7 Introduction .....	18
1.8 Participants .....	18
1.8.1 Recrutement.....	19
1.8.2 Éthique.....	20
1.9 Conditions (variables indépendantes).....	20
1.10 Mesures (variables dépendantes).....	22
1.10.1 Évaluation du niveau d'intensité de l'exercice (variable dépendante principale).....	22
1.10.2 Facteurs pouvant limiter le niveau d'intensité .....	23
1.11 Procédure .....	24
1.12 Quantification et analyses.....	27
CHAPITRE 2	
EVALUATING EXERCISE INTENSITY LEVELS IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY PLAYING THE WII™.....	29

DISCUSSION ET CONCLUSION.....	55
RETOMBÉES CLINIQUES ET PERSPECTIVES.....	57
ANNEXE 1	
LIGNES DIRECTRICES POUR LES ENFANTS ÂGÉS DE 5 À 11 ANS .....	58
ANNEXE 2	
AFFICHE DE RECRUTEMENT .....	60
ANNEXE 3	
GMFCS.....	61
ANNEXE 4	
FORMULAIRE DE CONSENTEMENT .....	63
ANNEXE 5	
ÉCHELLE DE BORG.....	68
ANNEXE 6	
ÉCHELLE MODIFIÉE D'ASHWORTH .....	69
ANNEXE 7	
EXEMPLE D'UN FICHIER VICON TRAITÉ .....	70
ANNEXE 8	
FEUILLE DE PROTOCOLE.....	71
ANNEXE 9	
FIGURE DES EMPLACEMENTS DES RÉFLECTEURS.....	74
RÉFÉRENCES.....	76

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Manette Wii™.....	11
1.2 Plateforme de la Wii™ (Wii fit).....	12
1.3 Les jeux sélectionnés (de droite à gauche en partant du haut : la planche à neige, le ski, la course à pied et le vélo) .....	21

## LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ACSM	American college of sport medicine
AVGC	Active video game console (Console de jeu vidéo actif)
CP	Paralysie cérébrale (Cerebral palsy)
DMC	Déficienc e Motrice Cérébrale
GMFCS	Gross Motor Function Classification System
HRR	Heart rate reserve (Fréquence cardiaque de réserve)
IMC	Indice de masse corporelle
KAD	Knee alignment device (dispositif d'alignement du genou)
MET	Metabolic equivalent of task (Équivalent métabolique)
SCPE	Société Canadienne de Physiologie de l'Exercice
SD	Standard deviation (Écart-type)
TD	Typically developing children (Enfants sains)

## RESUME

**Introduction :** Les enfants avec une paralysie cérébrale (CP) présentent souvent des complications liés au manque d'activité physique. Il a été démontré que les nouvelles consoles de jeux vidéo actifs constituent une approche prometteuse afin d'améliorer la capacité aérobique. Toutefois, on ignore si ces bénéfices s'observent également chez des enfants avec une CP. Nous émettons l'hypothèse que les jeux vidéos actifs solliciteront de manière efficace la capacité aérobique.

**Objectif :** Évaluer la sollicitation la dépense énergétique (fréquence cardiaque) obtenues lors de l'utilisation de la console WiiFit chez des enfants avec une CP.

**Méthode :** 12 enfants avec la CP ( $9,1 \pm 2,0$  ans) et 10 enfants sains ( $9,4 \pm 1,9$  ans) ont joué à 4 jeux (bicycle, jogging, ski et planche à neige) pendant 10 min/jeu.

**Résultats :** Le temps passé à une intensité modérée ou vigoureux (niveau d'intensité recommandé pour développer les capacités aérobies) a été similaire entre les deux groupes ( $p > 0.05$ ). Il est aussi à noter que le temps passé à une intensité modérée ou intense était plus long pour le jogging que pour le vélo (63% vs. 29% du temps total) ( $p < 0.05$ ). De plus, le jeu de course à pied avait une plus grande amplitude articulaire que le jeu de bicycle ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion :** La dépense énergétique observée chez les enfants avec une CP est comparable à celle observée chez des enfants sains ce qui suggère que les consoles de jeux actifs pourraient être utilisé afin de développer les capacités aérobies des enfants avec une CP. Les résultats de la présente étude démontrent aussi que les jeux sollicitant une plus grande amplitude articulaire des membres inférieurs est de première importance en raison des variations importantes observées entre les jeux au niveau de la dépense énergétiques.

**Mots-Clés :** Paralysie cérébrale, dépense énergétique, réadaptation.

## INTRODUCTION

Environ deux enfants sur 1000 ont une paralysie cérébrale (Cerebral Palsy, CP) (Haak, Lenski, Hidecker, Li, & Paneth, 2009). La CP est un ensemble de troubles neurologiques non progressifs affectant principalement le tonus musculaire, le contrôle du mouvement, la posture et la marche (Rosenbaum, et al., 2007). Ces problèmes ont un impact sur le mode de vie et limitent l'autonomie de l'enfant (Palisano, Hanna, Rosenbaum, & Tieman, 2010). Ces limitations affectent aussi la mobilité et peuvent mener à une réduction significative de la pratique d'activité physique, affectant ainsi la capacité cardiorespiratoire (Verschuren, Ketelaar, Takken, Helders, & Gorter, 2008). Les consoles de jeux vidéo actifs de troisième génération comme la Wii™ (Nintendo, Redmond, WA) sont de plus en plus utilisées en réadaptation motrice et pourraient permettre d'améliorer les fonctions motrices et d'augmenter la pratique d'activités physiques chez les enfants avec une CP (Shih, Shih, & Chiang, 2010). La console de jeu vidéo Wii™ permet à l'enfant d'interagir dans un environnement virtuel à l'aide d'une manette (Wii remote™) et d'une plateforme de force (Wii fit™). Les mouvements de l'enfant sont dupliqués à l'écran par l'entremise d'un avatar (Chen, et al., 2007). Cette console suscite un intérêt important notamment dû à son accessibilité (faible coût, facilité d'utilisation) et son côté ludique (aspect motivationnel). Ce mémoire vise principalement à évaluer les sollicitations physiologiques (fréquence cardiaque, échelle de Borg) lors de l'utilisation de différents jeux de la Wii™ chez des enfants avec et sans CP. Il sera ainsi possible de déterminer si cette console de jeu constitue un outil de réadaptation motrice adapté aux atteintes motrices de la CP.



## Hypothèse

Nous émettons l'hypothèse que la console de jeux vidéo actifs Wii™ sollicitera de manière efficace (i.e : intensité modérée/vigoureux) la capacité aérobique chez les enfants sains et avec CP. Cependant, comparativement aux enfants sains, les enfants avec la CP solliciteront de manière moins efficace la capacité aérobique.

## REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans les prochains paragraphes, la définition de la CP, son étiologie, de même que les atteintes associées seront abordés. Par la suite, les limites fonctionnelles de la CP seront expliquées suivie d'une discussion de l'impact de l'activité physique chez les enfants avec une CP. Finalement, la contribution possible de la Wii™ pour augmenter la pratique de l'activité physique sera abordée.

### 1.1 Définition de la paralysie cérébrale

La CP a été décrite pour la première fois par William Little en 1862 (Johnston & Hoon, 2006; Jones, Morgan, Shelton, & Thorogood, 2007). Little a décrit la CP comme étant un trouble affectant le développement moteur des enfants dans la première année qui suit leur naissance. Depuis, plusieurs définitions de la CP ont été proposées. Bax et al. (Bax, et al., 2005) a défini la CP comme étant un ensemble de problèmes affectant le mouvement et le contrôle postural causant ainsi une limitation des activités quotidiennes. Pour sa part, Rosenbaum (Rosenbaum, et al., 2007) met l'emphasis sur le caractère non-progressif de la CP et indique que dans la majorité des cas, elle apparaît lors du développement de l'embryon. Cette définition est maintenant largement utilisée parmi la communauté scientifique et pédiatrique (Rosenbaum, et al., 2007). En plus des problèmes moteurs, la CP est souvent accompagnée par des problèmes sensitifs, cognitifs, du langage, comportementaux et d'épisodes de convulsion (Kriger, 2006). La prévalence de la CP dans certains pays peut atteindre de 1.5 à 2.5 enfants sur 1000 (Paneth, Hong, & Korzeniewski, 2006). À notre connaissance, il n'existe pas de données précises sur le nombre exact d'enfants avec une CP au Québec ni au Canada.

Il existe plusieurs types de classification de la CP. La plus utilisée catégorise la CP selon le type d'handicap et le niveau moteur. Les problèmes de spasticité s'observent pour 80% des personnes avec la CP. La spasticité se définit comme étant une augmentation de la résistance, laquelle est dépendante à la vitesse d'exécution du

mouvement (Jones, Morgan, & Shelton, 2007; Scholtes, Becher, Beelen, & Lankhorst, 2006). L'enfant avec de la spasticité a un tonus musculaire plus élevé et démontre des réflexes plus accentués. Le patron moteur se définit notamment par une rotation interne et une adduction de la hanche (Rosenbaum, et al., 2007). Pour ce qui est du 20% de patients ne présentant pas de spasticité, on observe des problèmes de type dyskinétique ou ataxique (Himpens, Van den Broeck, Oostra, Calders, & Vanhaesebrouck, 2008). La dyskinésie se définit comme des mouvements involontaires, incontrôlés, récurrents et parfois stéréotypés (Rosenbaum, et al., 2007). Les enfants ayant des dyskinésies présentent une rigidité de la posture du cou et du tronc (Jones, Morgan, Shelton, et al., 2007). L'ataxie se caractérise par des difficultés de coordination des muscles ainsi qu'une anomalie au niveau des forces déployées pendant le mouvement. Des problèmes au niveau du rythme et de la précision du mouvement sont aussi observés (Gunel, Mutlu, Tarsuslu, & Livanelioglu, 2009). Dans certains cas, le type de CP ne peut être défini clairement puisqu'une personne peut présenter une forme mixte incluant à la fois de la spasticité et des dyskinésies (Shevell, Dagenais, & Hall, 2009).

Pour chacune de ces catégories, une distribution anatomique ou topographique de l'atteinte peut être établie. Ainsi, la CP est présente sous différentes formes, soit de type diplégique, monoplégique, hémiplegique ou quadriplégique (Minear, 1956). Le terme diplégie réfère principalement à une atteinte des membres inférieurs mais peut aussi avoir une atteinte des membres supérieurs. L'hémiplegie est l'atteinte la plus commune (Bialik & Givon, 2009). L'hémiplegie réfère à une atteinte d'un seul côté du corps. Finalement, le terme quadriplégie réfère à une atteinte aux quatre membres. Il n'est pas commun de rencontrer un enfant ayant une monoplégie ou une triplégie (Bialik & Givon, 2009), lesquelles font référence à une atteinte d'un seul ou de trois membres, respectivement.

## 1.2 L'étiologie

En 1897, Sigmund Freud a suggéré que la CP était dû à un retard du développement du cerveau avant la naissance de l'enfant, c'est-à-dire lors du

développement de l'embryon (Johnston & Hoon, 2006). Depuis, l'étiologie de la CP s'est grandement précisée. Les causes de la CP peuvent être classées dans trois catégories distinctes; pré-natale, péri-natale ou post-natale (Minear, 1956). Dans 70 à 80% des cas, la CP est causée par des problèmes prénataux (Johnston & Hoon, 2006), alors que 12 à 21% des cas sont associés à des problèmes postnataux et environ 10% des cas sont causés par des problèmes périnataux (Sankar & Mundkur, 2005). De ces risques prénataux, de 10 à 15% des cas sont associés à l'hypoxie, les maladies contagieuses ou des traumatismes (Bialik & Givon, 2009; Johnston & Hoon, 2006). Une anomalie génétique ou une malformation du cerveau peuvent aussi résulter en une CP (Johnston & Hoon, 2006). Les autres facteurs de risque pour les causes prénatales sont : une infection, un excès de drogue ou d'alcool chez la mère, une épilepsie maternelle, un retard mental de la mère ou un saignement important au troisième trimestre (Bialik & Givon, 2009). Pour la période péri-natale, 25 à 40% des enfants ayant une CP sont nés prématurément i.e. à moins de 37 semaines de grossesse (Jones, Morgan, Shelton, et al., 2007). De 10 à 15% des bébés nés avec un poids inférieur à 1500 grammes ont des risques de développer la CP (Bialik & Givon, 2009; Johnston & Hoon, 2006; Jones, Morgan, Shelton, et al., 2007; O'Shea, 2008; Sankar & Mundkur, 2005). La chorio-amnionite est une inflammation des membranes du fœtus représente un risque de 28% chez les prématurés (Bialik & Givon, 2009). Les autres risques sont un traumatisme, un saignement vaginal notamment dû à des complications au niveau du placenta et l'hypoxie (Bialik & Givon, 2009). Finalement, les causes post-natales sont les traumatismes à la tête, la méningite, une encéphalite et une ischémie cérébrale (Bialik & Givon, 2009). Encore aujourd'hui, 30% des causes de CP demeurent toutefois inconnues (Jones, Morgan, Shelton, et al., 2007; Rosenbaum, 2003).

### 1.3 Atteintes

La prochaine section portera sur les différentes atteintes associées à la CP. Les troubles musculo-squelettiques, respiratoires et cardiaques, les atteintes sensorielles ainsi que les atteintes secondaires seront brièvement abordées.

Le système musculo-squelettique est clairement l'un des systèmes les plus affectés dans la CP. Les problèmes de spasticité, les dyskinésies et autres problèmes

moteurs précédemment décrits ont un impact direct sur ce système. On dénote notamment des problèmes d'atrophie au niveau du muscle (Mockford & Caulton, 2010), principalement aux membres inférieurs (Shortland, 2009), lesquels contribuent à la présence fréquente de faiblesse musculaire chez les enfants avec CP (Shortland, 2009). La faiblesse musculaire a un impact direct sur le niveau fonctionnel des enfants réduisant ainsi la pratique d'activité physique (Kim & Park, 2011). On dénote aussi une réduction de l'amplitude articulaire tant au niveau des membres inférieurs que des membres supérieurs comparativement à des enfants sains (Mutlu, Livanelioglu, & Gunel, 2007). De plus, beaucoup d'enfants avec une CP ont un raccourcissement des muscles diminuant ainsi la possibilité d'exécuter certaines tâches (Shortland, 2009). On observe également de nombreuses déformations squelettiques tels qu'une scoliose et une cyphose de la colonne vertébrale (Al Wren, Lee, Kay, Dorey, & Gilsanz, 2011) nécessitant bien souvent l'utilisation d'orthèses (Kriger, 2006). Une faible densité osseuse est aussi fréquente, laquelle peut expliquer la présence de fractures plus fréquentes chez cette population (Al Wren, et al., 2011). Ces atteintes ont un impact important sur le contrôle du mouvement (voir section suivante).

Les enfants avec une CP ont également des capacités respiratoires réduites (Brown, Rodda, Walsh, & Wright, 1991; Verschuren, et al., 2008) et ont souvent des maladies pulmonaires (Fitzgerald, Follett, & Van Asperen, 2009). Une étude récente au Canada démontre que plus de 18% des enfants ayant la CP nécessitant des soins hospitaliers sont dû à des pneumonies ou d'autres problèmes respiratoires tels que l'asthme ou des maladies pulmonaires (Young, Ferguson, Brault, & Craig, 2010). Les facteurs pouvant affectés le développement d'une maladie pulmonaire sont les suivants : aspiration pulmonaire, difficulté de nettoyage des bronches, infection menant à des bronchites, cyphose et scoliose, obstruction des voies respiratoires et l'asthme (Fitzgerald, et al., 2009). Le manque d'activité physique a aussi un impact sur les capacités cardiorespiratoires, lesquelles sont grandement diminuées lorsque les enfants ne sont pas en bonne condition physique (Brown, et al., 1991). En raison du manque d'activité physique chez les enfants avec une CP, la capacité aérobie est inférieure en comparaison avec les enfants à développement normal (Verschuren & Takken, 2010).



Des atteintes sensorielles et cognitives de même que des troubles de la communication sont également observées chez les enfants avec une CP. Selon Taft (1995), le strabisme affecte plus de 75% des enfants avec une CP de type spastique. D'autre part, près d'un dixième des personnes atteintes de la CP ont des problèmes d'audition (Kriger, 2006) tels qu'une perte progressive de l'audition (S. M. Reid, Modak, Berkowitz, & Reddihough, 2011). De plus, certains enfants ont des problèmes de sensation au toucher, de perception de la douleur et proprioceptifs (Kriger, 2006). Aussi, les enfants avec une CP ont souvent de la dysarthrie (Haak, et al., 2009). La dysarthrie se définit par un problème de langage causé par des problèmes neurologiques (Sternic, Mijajlovic, Tomic, & Pavlovic, 2012). Finalement, plus de deux tiers des enfants avec CP ont un problème cognitif ou des troubles d'apprentissage (Jones, Morgan, Shelton, et al., 2007). Taft (1995) mentionne qu'un enfant sur deux atteint de la CP a un retard mental. L'espérance de vie d'un enfant peut se voir réduite en raison de la gravité des problèmes auditifs, visuels, cognitifs et un déconditionnement physique (Hutton & Pharoah, 2002).

#### 1.4 Les impacts fonctionnels

Les atteintes précédemment décrites ont un impact important sur le contrôle des membres supérieurs et des membres inférieurs. En raison de la spasticité et la faiblesse des membres supérieurs, les enfants ont souvent de la difficulté à atteindre et de manipuler des objets ainsi que relâcher ceux-ci (Chin, Duncan, Johnstone, & Graham, 2005). Au niveau de la marche, on observe une faible amplitude articulaire des membres inférieurs dans le plan sagittal et un centre de gravité projeté vers l'avant (Desloovere, et al., 2006; Rose, Gamble, Burgos, Medeiros, & Haskell, 1990) résultant notamment en une augmentation du niveau d'intensité (Abel & Damiano, 1996; Ballaz, Plamondon, & Lemay, 2010; Rose, et al., 1990; Rosen, Tucker, & Lee, 2006).

Les atteintes associées à la CP ont aussi un impact important au niveau du contrôle postural. Ce type de problème pourrait être déterminant pour l'utilisation de

consoles de jeux actifs, d'où l'importance de les décrire de façon approfondie. Alors que Reilly (Reilly, Woollacott, van Donkelaar, & Saavedra, 2008) montre un contrôle postural similaire entre les enfants sains et les enfants avec CP de type bilatéral spastique, d'autres auteurs mettent toutefois en évidence une augmentation du déplacement du centre de pression chez les enfants avec CP de type unilatéral spastique (Donker, Ledebt, Roerdink, Savelsbergh, & Beek, 2008; Ferdjallah, Harris, Smith, & Wertsch, 2002; Woollacott, et al., 2005). Les troubles de contrôle postural sont liés à la faiblesse des muscles squelettiques, la spasticité et le manque d'amplitude de l'articulation de la cheville et un problème d'alignement des segments du corps lors d'un changement de posture (Shumway-Cook, Hutchinson, Kartin, Price, & Woollacott, 2003; Woollacott, et al., 2005). Les déficits du contrôle postural observés chez l'enfant avec une CP seraient amplifiés en l'absence d'une rétroaction visuelle ou sensorielle (Butler, Lord, Rogers, & Fitzpatrick, 2008; Liao, Jeng, Lai, Cheng, & Hu, 1997; Rose, et al., 2002). Il serait donc important pour un enfant avec la CP d'utiliser davantage des repères visuels lorsqu'il se déplace afin d'éviter de trébucher (Butler, et al., 2008). En situation de double-tâche, les personnes avec une CP ont un contrôle postural plus affecté dû aux problèmes cognitifs (Kriger, 2006; Reilly, et al., 2008).

Les atteintes et les troubles fonctionnels de la personne avec CP affectent leur capacité à effectuer de l'activité physique (Rogers, Furler, Brinks, & Darrah, 2008). Ainsi, la spasticité, le manque de force ou de mobilité articulaire et les troubles du contrôle postural peuvent sérieusement limiter la pratique adéquate d'activités physiques. Dans la prochaine section, un survol de la littérature sur la pratique de l'activité physique chez les patients avec CP sera effectué.

### 1.5 Activité physique

Une équipe multidisciplinaire (physiothérapeute, ergothérapeute, psychologue, pédiatre, physiatre, orthopédiste et kinésologue) offre notamment des traitements physique (ex. aquathérapie, renforcement musculaire), pharmacologique (ex. baclofen) ou chirurgical (ex. rhizotomie dorsale sélective) afin de limiter les atteintes motrices,

sensorielle et cognitives de même que les problèmes fonctionnels des enfants avec CP. Ces traitements peuvent faciliter la pratique d'activité physique mais n'ont habituellement pas d'impact majeur sur leur condition physique. Les enfants avec une CP sont moins actifs que les enfants sains du même âge et pratiquent souvent des activités à une intensité moindre (Abel & Damiano, 1996; Claassen, et al., 2011; Imms, 2008; Maher, Williams, Olds, & Lane, 2007; H. J. van den Berg-Emons, et al., 1995). Les enfants avec une CP ne voient souvent que les désavantages reliés à la pratique d'activité physique tels que les risques de blessures musculaires ou la présence de fatigue associée (Rimmer, 2005; Wind, Schwend, & Larson, 2004). Le manque de transport pour personne à mobilité réduite et les équipements inadéquats favorisent aussi le déconditionnement physique des enfants ayant une CP (Rimmer, 2005). L'une des contraintes les plus importantes concerne les problèmes de contrôle postural. En raison de ces problèmes, les enfants avec une CP ont de la difficulté à faire des tâches quotidiennes et préfèrent rester en position assise (Carlberg & Hadders-Algra, 2005). Ainsi, les enfants avec une CP peuvent avoir de la difficulté à compléter certains exercices puisqu'ils ont une plus grande oscillation du contrôle postural. En général, les problèmes de mobilité des enfants avec CP limitent la possibilité de faire de l'activité physique causant ainsi une diminution de la forme physique (D. B. Maltais, Pierrynowski, Galea, Matsuzaka, & Bar-Or, 2005; Rosen, et al., 2006). Inversement, la diminution de la capacité physique des enfants augmentent les problèmes secondaires chez l'adulte avec une CP, tel qu'une diminution de l'efficacité de la marche (Rose, et al., 1990).

En général, les programmes d'activité physique pour personnes avec la CP ne sont pas adaptés à leurs atteintes et limites fonctionnelles (Martin, Baker, & Harvey, 2010). L'entraînement en milieu aquatique est souvent utilisé et offre certains avantages tels qu'une augmentation de la résistance des mouvements causés par l'eau et des mouvements antigravitaire causé par l'immersion des membres dans l'eau (Ballaz, et al., 2010). La contraction musculaire se fait uniquement en concentrique évitant une contraction excentrique, laquelle peut avoir des impacts néfastes sur le muscle chez les enfants avec la CP (Kelly & Darrah, 2005). Toutefois, l'accessibilité est souvent limitée



par la nécessité de se déplacer à la piscine et les coûts associés à cette activité. De plus, la température de l'eau doit être élevée pour faciliter l'accès à tous les enfants (Getz, Hutzler, & Vermeer, 2006).

L'entraînement en résistance et aérobique est aussi couramment utilisée, notamment dans des contextes de réadaptation motrice, dans le but d'améliorer la condition physique générale d'un enfant avec la CP (Verschuren, et al., 2008). Il a été démontré que l'entraînement en résistance sur les membres inférieurs permet d'améliorer la force de ceux-ci (Verschuren, et al., 2008). L'entraînement aérobique ne semble toutefois mener à des résultats concluants en ce qui a trait à l'amélioration de la capacité cardiorespiratoire des enfants avec une CP (Butler, et al., 2008). Ainsi, l'intensité des entraînements aérobiques n'est souvent pas suffisante pour améliorer la condition physique des enfants. Selon Butler (Butler, Scianni, & Ada, 2010), il y a un manque d'évidences scientifiques supportant l'efficacité des différentes méthodes utilisées en réadaptation afin d'augmenter les capacités respiratoires. De plus, les paramètres permettant une amélioration de la condition physique tels que le volume, l'intensité et la durée d'un programme sont encore méconnues (Rimmer, 2005; Verschuren, et al., 2008).

Il semble donc que plusieurs facteurs limitent la pratique d'activité physique chez l'enfant avec CP et que les programmes d'activité physique sont bien souvent inadéquats pour cette population. Il est donc important de concevoir des activités adaptées aux besoins des enfants avec CP.

## 1.6 Réalité virtuelle et jeux vidéo actifs

La réalité virtuelle est une méthode récente de plus en plus utilisée en réadaptation pour plusieurs pathologies dont la CP et permet de combler certaines lacunes observées pour des approches de réadaptation plus conventionnelles (Snider, Majnemer, & Darsaklis, 2010). La réalité virtuelle est une expérience multi sensorielle qui permet aux joueurs d'interagir avec des objets ou des événements à partir d'un environnement virtuel créé par un ordinateur ou une console (Schultheis, Himmelstein, & Rizzo, 2002). Ainsi, le participant peut interagir dans cet environnement virtuel et recevoir une rétroaction sur

les mouvements effectués (D. Reid, 2004). Le participant a la possibilité de compléter des tâches spécifiques dans le but d'améliorer soit la capacité aérobie, le contrôle postural, la locomotion ou le contrôle des membres supérieurs (Fung, et al., 2010; Snider, et al., 2010). Cependant, la plupart des systèmes utilisant la réalité virtuelle sont peu accessibles principalement dû aux coûts associés à l'achat de ceux-ci et la complexité de leur fonctionnement (Fung, et al., 2010).

Des systèmes de jeu vidéo utilisant les principes de la réalité virtuelle tels que la Wii™ (Nintendo, Redmond, États-Unis), la Playstation Move™ (Playstation, Tokyo, Japon) et la Kinect™ (Microsoft, Redmond, États-Unis) ont été mis sur le marché dans les dernières années. L'utilisation de la Wii™ dans le domaine de la réadaptation motrice générale est de plus en plus fréquente depuis quelques années (Deutsch, Borbely, Filler, Huhn, & Guarrera-Bowlby, 2008) et est présentement la plus étudiée parmi les nouvelles consoles. Contrairement à la Kinect™ et à la Playstation Move™, une variété de jeux ludiques sont offerts pour les enfants, dont certains permettent de pratiquer un sport ou d'effectuer des exercices de mise en forme. La console de jeu vidéo Wii™ permet au joueur de contrôler un avatar dans un monde virtuel à l'aide d'une manette (voir figure 1) et d'une plateforme de force. La manette de la Wii™ est munie d'un accéléromètre triaxial permettant à la console de représenter la vitesse et l'amplitude des mouvements produits par le joueur à l'écran par l'entremise de l'avatar (Wuang, Chiang, Su, & Wang, 2011).



Figure 1.1 Manette Wii™

La Wii Fit™ est une composante supplémentaire pouvant être ajoutée à la console de jeux. La Wii Fit™ est similaire à une plateforme de force (voir figure 2). Elle est pourvue de quatre capteurs de force situés dans chacun des coins de la plateforme ce qui permet de représenter le déplacement du centre de force ou le positionnement des pieds du joueur à l'écran (Shih, et al., 2010).



Figure 1.2 Plateforme de la Wii™ (Wii fit)

Les avantages de l'utilisation de consoles de jeux vidéo actives sont nombreux et viennent combler plusieurs lacunes des approches conventionnelles en réadaptation motrice précédemment décrites. En effet, parmi les différents avantages, on retrouve 1) les coûts associés à l'utilisation de ces consoles sont minimales 2) l'enfant a la possibilité de s'entraîner à la maison afin de compléter le travail fait en réadaptation motrice avec l'aide d'un physiothérapeute ou un kinésiologue 3) la réalité virtuelle permet au joueur d'exécuter des mouvements dans un environnement sécuritaire (Deutsch, et al., 2008) 4) la Wii™ est associée à un niveau de motivation élevé chez l'enfant (Snider & Majnemer, 2010) 5) les enfants ont la possibilité de performer aussi bien que leurs pairs créant ainsi un effet normalisant 6) ces systèmes permettent de solliciter plusieurs fonctions motrices telles que l'équilibre, le renforcement musculaire des membres inférieurs et le système aérobie (L. Graves, Stratton, Ridgers, & Cable, 2007; Hurkmans, van den Berg-Emons, & Stam, 2010; Lanningham-Foster, et al., 2009; Levac,



et al., 2010; Miyachi, Yamamoto, Ohkawara, & Tanaka, 2010; Nitz, Kuys, Isles, & Fu, 2010; White, Schofield, & Kilding, 2011; Worley, Rogers, & Kraemer, 2011).

Au niveau des limites, il a été démontré que les personnes sédentaires peuvent développer des enflures et des douleurs aux épaules, surtout si ceux-ci pratiquent des exercices de manière intensive (Cowley & Minnaar, 2008). On rapporte aussi quelques cas de blessures au genou dus à des chutes ou des mouvements engendrant une torsion de la jambe (George, 2010). Lors de tests préliminaires effectués à notre laboratoire et suite à des discussions avec des physiothérapeutes/kinésiothérapeutes, d'autres limites ont été relevées concernant l'exécution des mouvements. Par exemple, le joueur doit se limiter aux mouvements demandés par le jeu, restreignant ainsi la liberté de mouvement. Aussi, les enfants peuvent avoir recours à différentes stratégies compensatoires diminuant la possibilité d'une amélioration du contrôle postural ou d'un renforcement musculaire adéquat. Par exemple, au lieu d'effectuer un mouvement de la hanche pour faire progresser l'avatar lors de certains jeux, l'enfant compensera avec un mouvement des bras.

#### 1.6.1 Wii™ et niveau d'intensité de l'exercice

Tel que discuté précédemment, les enfants avec une CP ont des capacités aérobiques diminuées comparé à des enfants du même âge en santé (Brown, et al., 1991; Verschuren & Takken, 2010). De plus, les entraînements aérobiques permettent rarement une amélioration de la condition physique des enfants avec une CP (Butler, et al., 2010). Chez les participants en santé, certaines études démontrent que la Wii™ pourrait permettre d'obtenir un niveau d'intensité modéré de l'exercice, ce qui laisse suggérer que cet outil pourrait aussi être intéressant pour les enfants avec CP. Dans les prochains paragraphes, nous présenterons les études qui ont évalué les niveaux d'intensités de l'exercice lors de l'utilisation de la Wii™.

Le niveau d'intensité de l'exercice pour certains jeux chez des enfants sains peut atteindre 5.14kcal/h/kg soit l'équivalent d'un exercice modéré (Lanningham-Foster, et

al., 2009). De façon similaire, plusieurs études rapportent un niveau d'intensité modéré de l'exercice avec une fréquence cardiaque supérieure à 40% de la fréquence cardiaque au repos chez des enfants sains (L. Graves, et al., 2007; White, et al., 2011). Pour sa part, Miyachi et al. (2010) démontrent que certains jeux sur la Wii™ peuvent solliciter un niveau d'intensité supérieure à 3 Metabolic Equivalent of Task (MET) chez des adultes en santé. Les METs est une unité de mesure permettant d'évaluer le niveau d'intensité de l'exercice. Selon les lignes directrices de l'American College of Sport Medicine (ACSM) et de la Société Canadienne de Physiologie de l'Exercice (SCPE), un niveau de 3 à 6 METs équivaut à un exercice modéré tandis qu'un niveau supérieur à 6 METs équivaut à une intensité vigoureuse.

Une des études les plus rigoureuses sur le sujet avait pour but de comparer le niveau d'intensité de l'exercice induit chez des jeux vidéo actif versus avec un tapis roulant chez des enfants sains (Graf, Pratt, Hester, & Short, 2009). Lors de la première visite, les enfants (10 à 13 ans) ont joué aux jeux "dance dance revolution" (jeu qui reproduit des mouvements de pied effectués en danse) sur la playstation 2™ et deux jeux sur la Wii™ (boxe et bowling). Les enfants jouaient pendant 15 minutes à chacun des jeux proposés. La deuxième visite consistait à effectuer un exercice sur tapis roulant. Le calcul du niveau d'intensité de l'exercice se faisait par l'intermédiaire d'un analyseur de gaz à l'aide d'un masque porté sur le visage de l'enfant. Les résultats ont démontré que les jeux vidéo actifs permettent un niveau d'intensité de l'exercice similaire à un exercice sur tapis roulant réglé à une vitesse de marche de 5.7km/h. Une des limites de l'étude est le port du masque, lequel peut encombrer les mouvements fait par l'enfant, ce qui pourrait mener à une sous-estimation de du niveau d'intensité de l'exercice. De plus, seulement des enfants déjà actifs ont été testés

Selon les recommandations de l'ACSM et de la SCPE, les enfants devraient effectuer un minimum de 60 minutes d'activités physiques par jour à intensité modérée (Voir annexe 1). Ainsi, un niveau d'intensité de l'exercice équivalent à 5.14kcal/h/kg ou un exercice supérieur à 3 METs pendant 60 min/jour serait suffisant pour respecter les recommandations de l'ACSM et de la SCPE. La Wii™ permet donc d'atteindre

l'intensité requise pour les personnes en santé dans un contexte de maintien de la condition physique.

### 1.6.2 Wii™ en réadaptation

Plusieurs études ont démontré les bienfaits de la Wii™ chez différents types de clientèles symptomatiques tels que des personnes âgées avec une perte d'équilibre (Agmon, Perry, Phelan, Demiris, & Nguyen, 2011), des personnes ayant eu accident vasculaire cérébral (Deutsch, et al., 2011) et chez des enfants présentant diverses pathologies telles que la trisomie 21 (Wuang, et al., 2011) et des enfants avec une lésions cérébrales (de Kloet, Berger, Verhoeven, van Stein Callenfels, & Vlieland, 2012).

À notre connaissance, seulement quatre études ont été effectuées à ce jour avec des patients avec une CP. Chez les adultes avec une CP, une étude rapporte un niveau d'intensité de l'exercice supérieur à 3 METs, et pouvant même atteindre 6 METs pour certains jeux (Hurkmans, et al., 2010). Chez les enfants avec une CP, trois études ont été effectuées. Tout d'abord, l'étude de Shih et al. (2010) démontre la possibilité d'adapter la Wii Fit™ à l'aide d'un logiciel afin de détecter un changement de posture de l'enfant. Cependant, cette étude n'a pas calculé le niveau d'intensité de l'exercice des enfants lors des différents jeux testés. La deuxième étude est une étude de cas d'un enfant avec CP réalisée par Deutsch et ses collaborateurs démontrant la possibilité d'utiliser la Wii™ dans le cadre d'un entraînement (Deutsch, et al., 2008). L'entraînement avait une durée de 11 semaines avec des séances pouvant varier de 60 à 90 minutes. L'enfant pouvait décider de jouer à 5 différents jeux soit en position assise ou debout. Les auteurs ont démontré que l'enfant avait une fréquence cardiaque élevée pour certains jeux et que celui-ci semblait être motivé. Deux limites importantes affectent la portée des résultats 1) un seul participant avec la CP a été testé 2) il y avait un manque de standardisation dans la procédure; le participant ne jouait pas aux mêmes jeux lors des différentes séances d'entraînement. De plus, tel que mentionné par les auteurs, les mécanismes impliqués dans la régulation du niveau d'intensité de l'exercice ne sont pas connus. Enfin, compte



tenu de la diversité des atteintes chez les enfants avec CP, il n'est pas possible, sur la base de ce projet, de déterminer si la Wii™ est adapté pour tous les enfants.

La troisième étude a été effectuée chez des 17 enfants avec la CP de type spastique hémiplegique (Howcroft, et al., 2012). L'objectif de cette étude était d'évaluer la possibilité d'utiliser la Wii™ en réadaptation par l'analyse du niveau d'intensité de l'exercice, de l'activité musculaire et de la qualité des mouvements. Cette étude démontre la possibilité d'atteindre une intensité d'exercice de niveau modéré pour certains jeux tels que la boxe et la danse. Le temps passé à une intensité modérée ou vigoureuse pour chacun des jeux n'a toutefois pas été mentionné. De plus, les résultats obtenus sont applicables uniquement pour les enfants avec CP de type hémiplegique. On ignore donc si les bienfaits de la Wii™ s'appliquent aux enfants présentant une atteinte de type diplegique. Enfin, les jeux sollicitaient avant tout les membres supérieurs. Or, Miyachi (Miyachi, et al., 2010) démontre l'importance d'impliquer les membres inférieurs lors de l'utilisation de la Wii. Miyachi (2010) a évalué le niveau d'intensité de l'exercice chez 12 adultes sains jouant à 68 jeux différents et démontre que 22 de ces jeux ont un niveau d'intensité modérée à vigoureux. De ces 22 jeux, une large majorité (17 sur 22) sollicitait les membres inférieurs.

Il est important de permettre aux enfants avec CP d'effectuer des exercices qui solliciteront les capacités aérobiques de façon suffisante. Plusieurs études démontrent que la Wii™ permet d'effectuer un exercice d'intensité modérée. Toutefois, les évidences sont limitées au niveau des participants avec une CP, particulièrement chez les enfants avec une CP de type spastique diplegique. Tel que décrit précédemment, des atteintes motrices (spasticité, faiblesse musculaire, restriction au niveau des articulations) et fonctionnelles (p.ex. contrôle postural perturbé) pourraient limiter le niveau d'intensité de l'exercice lors de l'utilisation des jeux. Ce mémoire a comme objectif d'évaluer le niveau d'intensité d'exercice atteint lors de l'utilisation de la Wii™ chez des enfants avec et sans CP et de déterminer les paramètres affectant celle-ci. Une meilleure compréhension des paramètres pouvant avoir un impact sur le niveau d'intensité atteint

est important afin de mieux adapter les techniques de réadaptation motrice générale chez des enfants avec une CP de type spastique diplégique utilisant la Wii™.



## MÉTHODOLOGIE

### 1.7 Introduction

L'objectif principal de ce mémoire était d'évaluer les réponses physiologiques (fréquence cardiaque, échelle de Borg) induites par la Wii™ chez les enfants avec une CP. L'objectif secondaire était de déterminer l'impact de limitations motrices sur la fréquence cardiaque d'enfants avec une CP.

### 1.8 Participants

Un groupe d'enfant avec la CP (n=10) âgés de 7 à 12 ans et un groupe d'enfants sains (n=10) apparié sur l'âge ont été inclus dans le projet.

Critères de sélection :

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- Les participants devaient être âgés entre 7 à 12 ans; Un déclin de l'activité physique est observé chez les adolescents âgés de 13 à 18 ans (Sallis, 2000). Ainsi, il est important de promouvoir l'activité physique dès un jeune âge, en particulier chez les enfants avec la CP pour améliorer leur capacité fonctionnelle et leur état de santé (Verschuren & Takken, 2010) ,
- Les participants devaient être en mesure de se tenir debout pendant une période minimale de 10 minutes sans aide technique; Tous les jeux ont nécessité une position debout tout au long des différents jeux,
- Les participants devaient avoir un niveau I ou II sur le GMFCS; les participants avec un niveau III ou IV sur la GMFCS ont une atteinte motrice plus sévère et n'aurait pas été en mesure de jouer aux jeux sélectionnés. De plus, la majorité des enfants suivis au centre de réadaptation Marie Enfant sont de niveau I ou II.
- Les participants avec la CP devaient être de type spastique diplégique des membres inférieurs; malgré qu'une étude démontre la possibilité d'obtenir des

intensités modérés chez des enfants avec la CP de type spastique hémiplégique (Howcroft, et al., 2012), il est encore méconnu si ces bienfaits sont applicables chez des enfants diplégiques. De plus, Miyachi (2010) démontre l'importance d'impliquer les membres inférieurs pour atteindre un niveau d'intensité modéré ou vigoureux.

Les critères d'exclusion sont les suivants :

- Les participants ne devaient pas avoir de troubles neurologiques connus autre que la CP (convulsions, épilepsie); la compagnie Nintendo suggère aux enfants avec un trouble neurologique tels que l'épilepsie de consulter un médecin avant de jouer afin d'éviter des blessures,
- Les participants ne devaient pas avoir une opération ou injection de toxine botulique aux membres inférieurs lors des trois derniers mois; l'injection de toxine botulique influence la capacité fonctionnelle des enfants et le coût énergétique associé à la réalisation de tâches motrices (Balaban, Tok, Tan, & Matthews, 2012).
- Les participants ne devaient pas avoir un retard mental; un enfant avec un retard mental n'aurait possiblement pas été en mesure de comprendre les consignes de certains jeux.

### 1.8.1 Recrutement

Le recrutement des participants du groupe contrôle a été fait à l'aide d'une affiche (voir annexe 2) placée au centre de réadaptation de Marie Enfant et à l'institut de cardiologie de Montréal. Pour ce qui est des enfants avec une CP, ils ont été recrutés en collaboration avec les cliniciens du programme déficience motrice cérébrale (DMC) du centre de réadaptation Marie Enfant. Les cliniciens ont communiqué aux chercheurs en charge du recrutement une liste exhaustive incluant les données démographiques et cliniques détaillées, telles que l'âge, le sexe, l'atteinte fonctionnelle, le type de CP et les comorbidités des participants. Les données obtenues par l'échelle « Gross Motor

Functionnal Classification System » (GMFCS) ont aussi été fournis. Le GMFCS permet de catégoriser les habiletés motrices des enfants ayant une CP (R. Palisano, et al., 1997) ou en d'autres mots, évaluer la sévérité de l'handicap moteur. L'échelle est constituée de 5 niveaux. Au premier niveau, l'enfant peut se déplacer sans aide technique, tandis qu'au dernier niveau, l'enfant doit avoir recours à une aide technique en tout temps et sa mobilité est grandement affectée. Les données du GMFCS nous ont permis de recruter des enfants avec des habiletés motrices similaires de niveau I et II (Voir annexe 3 pour une description)

### 1.8.2 Éthique

Le présent projet de recherche a été approuvé par le comité scientifique et d'éthique du centre de recherche du CHU Sainte-Justine. Une copie de l'attestation éthique ainsi que les coordonnées du comité institutionnel externe ont été soumis au décanat de la Faculté des sciences de l'UQAM le 30 mai. Tous les participants ont pris connaissance de ce formulaire d'information et l'ont signé (Voir annexe 4). Les participants n'ont obtenu aucun bénéfice direct en adhérant à cette étude. Les risques liés à la pratique d'un jeu vidéo actif sont les mêmes risques que ceux d'un exercice physique classique. Les risques sont une blessure musculo-tendineuse et articulaire par la réalisation d'un geste inadéquat. Les évaluations ont été supervisés par un kinésiologue habitué à travailler avec des enfants présentant une CP permettant de limiter ces risques. Les participants pouvaient se retirer à n'importe quel moment de l'expérimentation. Aucune blessure n'a été observée chez les enfants. Chaque participant a reçu une somme de 20 dollars à la fin de l'expérimentation en guise de compensation.

### 1.9 Conditions (variables indépendantes)

Les variables indépendantes sont les groupes (deux niveaux : contrôle et expérimental) et les jeux testés (quatre niveaux : ski, planche à neige, course à pied et vélo; voir figure 3). La présélection des jeux a été faite, basée selon les critères suivants : 1) les jeux ont dû être ludiques, 2) doivent solliciter le système cardiorespiratoire et le contrôle postural 3) doivent pouvoir être joués à la maison sans assistance 4) doivent être

simples (demandes cognitives faibles). Ainsi, parmi les 4 jeux sélectionnés, deux jeux ciblent un niveau d'intensité élevé (course à pied et vélo) tandis que les deux autres (ski et planche à neige) requièrent des transferts de poids du joueur dans les axes médiolatéral (planche à neige) et antéropostérieur (ski) et permettent l'inclusion d'une période de récupération active entre les jeux demandant une intensité plus élevée (i.e. vélo et course à pied).

Pour la course à pied, l'enfant doit courir sur place avec la manette dans la poche ou dans la main sur la plateforme WiiFit™. Grâce à l'accéléromètre de la manette, la vitesse du déplacement engendre une progression de l'avatar dans le jeu. Ainsi, lorsque l'enfant augmente la cadence de ses pas, l'avatar se déplace plus rapidement. Quant au jeu du vélo, il est le seul qui nécessite une coordination des membres supérieurs et inférieurs. L'enfant court sur place sur la Wii Fit™, engendrant un mouvement du pédalier du vélo, lequel est représenté à l'écran. En plus de courir sur place, il doit diriger le vélo à l'aide de la manette. Dans le cas du jeu de planche à neige, le participant doit contourner des obstacles en déplaçant son centre de pression vers l'avant ou l'arrière. Pour ce qui est du ski, il nécessite un déplacement du centre de pression dans le plan médiolatéral afin de contourner des drapeaux. Ces deux derniers jeux requièrent l'utilisation de la Wii Fit™.

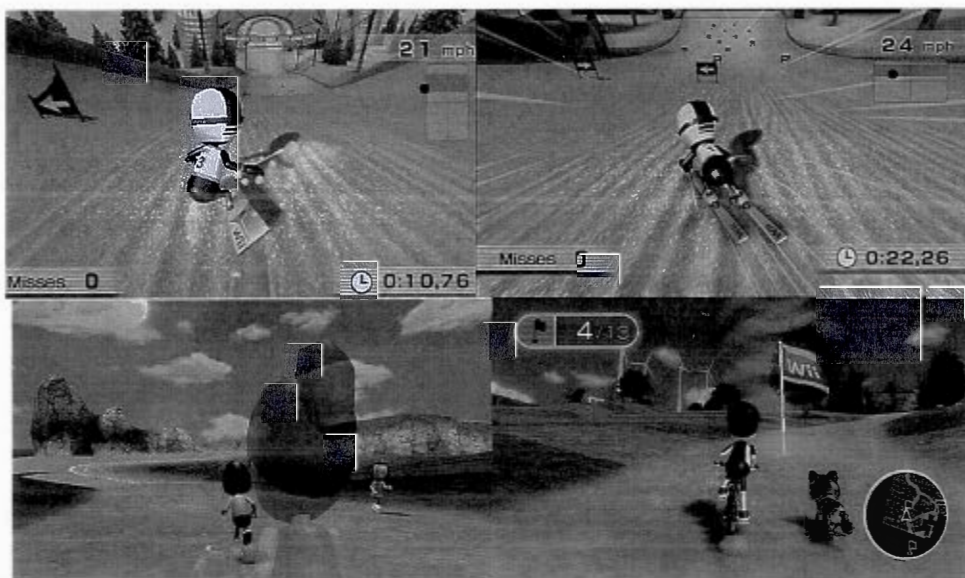


Figure 1.3 Les jeux sélectionnés (de droite à gauche en partant du haut : la planche à neige, le ski, la course à pied et le vélo)



### 1.10 Mesures (variables dépendantes)

Sur la base de la revue de littérature, différents déficits ont été identifiés, lesquels pourraient contribuer à limiter le niveau d'intensité des exercices. Par exemple, un contrôle postural inadéquat pourrait placer l'enfant en constant déséquilibre, l'empêchant ainsi d'effectuer la tâche correctement et ainsi atteindre un niveau d'intensité insuffisant. Dans le cadre de notre projet, les fonctions suivantes ont été évaluées : la force maximale, la spasticité, l'amplitude articulaire, le contrôle postural, la mobilité (évaluer par une analyse cinématique), la perception de l'effort (échelle de Borg) et l'appréciation des différents jeux.

#### 1.10.1 Évaluation du niveau d'intensité de l'exercice (variable dépendante principale)

Afin d'évaluer le niveau d'intensité des enfants lors des jeux, la fréquence cardiaque de même que l'échelle de Borg ont été utilisées. La fréquence cardiaque lors des différents jeux a été évaluée à l'aide d'une montre polar RS 400 cadencée à 1 Hz (Polar, Kempele, Finlande). L'intensité de l'exercice a été définie par le pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve en lien avec la fréquence cardiaque maximale lorsque l'enfant jouait à la Wii™. La fréquence cardiaque de réserve est obtenue en soustrayant la fréquence cardiaque au repos de la fréquence cardiaque maximale (Fréquence cardiaque de réserve = fréquence cardiaque maximale – fréquence cardiaque de repos). Le pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve est défini par une soustraction de la fréquence cardiaque de repos à la fréquence cardiaque maximale de la Wii™ divisé par la fréquence cardiaque de réserve multiplié par 100. (Pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve = (fréquence cardiaque maximale Wii™ - fréquence cardiaque de repos)/fréquence cardiaque de réserve\*100). La fréquence cardiaque maximale théorique a été calculée à partir de la formule suivante :  $208 - (\text{âges} * 0.7)$ . Contrairement à la formule de Karvonen ( $220 - \text{âge}$ ) et celle de Verschuren (Verschuren, Maltais, & Takken, 2011) proposant 194 comme fréquence cardiaque maximale chez les enfants avec une CP, cette formule a été validée à plusieurs reprises chez des enfants (Machado & Denadai, 2011; Mahon, Marjerrison, Lee, Woodruff, & Hanna, 2010). Afin d'évaluer la

fréquence cardiaque de repos, l'enfant est resté en position couchée d'une durée de 5 minutes et la valeur la moins élevée a été retenue. Selon une revue littérature de Rogers (2008), la mesure de la fréquence cardiaque avec une montre Polar a été validée à plusieurs reprises lors d'évaluation de la capacité aérobie chez des enfants avec une CP (Rogers, et al., 2008). L'avantage d'utiliser la fréquence cardiaque comme outil de mesure du niveau d'intensité est que le cardiofréquencemètre ne restreint pas les mouvements des enfants (R. J. Van den Berg-Emons, Saris, Westerterp, & van Baak, 1996) contrairement aux analyseurs de gaz. De plus, le fait de porter un masque au visage des enfants ne représente pas un contexte réel de jouabilité.

Une mesure de la perception de l'effort a été récoltée après chacun des jeux à l'aide de l'échelle de Borg afin de percevoir l'état physique de l'enfant (Voir annexe 5). Un résultat de 6 sur l'échelle de Borg équivaut à un effort très léger tandis qu'un résultat de 16 équivaut à un effort très difficile. Finalement, l'enfant a donné une note d'appréciation du jeu sur une échelle Likert allant de 1 à 10 (10 : très apprécié, 1 : pas du tout apprécié). Une moyenne a été calculée pour les deux échelles pour chaque enfant.

#### 1.10.2 Facteurs pouvant limiter le niveau d'intensité

Force maximale : La force maximale isométrique en flexion et en extension de la hanche, du genou et de la cheville a été calculée à l'aide d'un dynamomètre portable (Lafayette inc., Lafayette, É-U). Cette mesure a été effectuée par une personne expérimentée sur tous les participants. Cet appareil a été validé pour calculer la force maximale isométrique (Berry, Giuliani, & Damiano, 2004; Taylor, Dodd, & Graham, 2004). Trois essais de force maximale des membres inférieurs ont été effectués pour chacune des articulations en flexion et en extension. Une moyenne des deux valeurs les plus élevées a été retenue. Par la suite, la force a été normalisée avec le poids de la personne et la longueur du bras de levier (NM/Kg).

Spasticité : L'échelle modifiée d'Ashworth (voir annexe 6) a été utilisée afin de déterminer le niveau de spasticité sur l'articulation du genou chez les enfants avec une

CP. L'échelle modifiée d'Ashworth est l'outil le plus utilisé pour connaître le niveau de spasticité chez une personne spastique (Mutlu, Livanelioglu, & Gunel, 2008). L'évaluation de la spasticité a été effectuée par une personne expérimentée. Une moyenne des résultats obtenus lors de l'évaluation de la spasticité chez les participants avec une CP a été calculée. L'échelle modifiée de Ashworth est basée sur une échelle de 6 niveaux (0, 1, 1+, 2, 3, 4) où un résultat élevé est associé avec à un niveau élevé de spasticité.

Amplitude articulaire passive: Un goniomètre a été utilisé afin de calculer l'amplitude articulaire en flexion et en extension des articulations suivantes : la hanche, le genou et la cheville. Cet appareil a été validé pour calculer l'amplitude articulaire (Gajdosik & Bohannon, 1987). Des procédures standardisées suivant les recommandations de Mutlu (Mutlu, et al., 2007) ont été utilisées afin de déterminer l'amplitude articulaire de manière passive des différentes articulations. Une moyenne des amplitudes articulaires en flexion et en extension pour chaque groupe a été retenue.

Amplitude articulaire active : Une analyse cinématique tridimensionnelle utilisant un système optoélectronique (Vicon) avec huit caméras cadencées à 120Hz a été utilisé pour enregistrer les mouvements des membres inférieurs des enfants lorsqu'ils jouaient à la Wii™ (Oxford Metrics, Oxford, UK). Les mesures obtenues à l'aide du Vicon sont l'amplitude articulaire de la hanche, du genou et de la cheville dans le plan sagittal (Voir annexe 7 pour un fichier de Vicon traité).

### 1.11 Procédure

Avant d'entamer le projet de recherche, un contact téléphonique avec le participant a été fait afin de convenir d'une date pour l'évaluation. Avant l'arrivée du participant, le laboratoire a été nettoyé et l'ordinateur a été allumé. Une calibration de la plateforme de force a aussi été effectuée. Le système optoélectronique pour l'analyse cinématique a été calibré et allumé 30 minutes avant l'arrivée du participant. Des collants à double face non-abrasif ont été apposés sur les réflecteurs pour qu'ils puissent être collés sur la peau du

participant. Une vérification des batteries de la télécommande et de la WiiFit™ a été faite et la console a été branchée dans la prise d'alimentation. Une télévision à cristaux liquides (40 pouces) a été mise sur un meuble prévu à cet effet et a été branchée à la Wii™. Une vérification du fonctionnement de la Wii™ et de la télévision a été faite. Le formulaire d'éthique, la feuille du protocole de recherche (voir annexe 8), l'échelle de Borg ainsi qu'une feuille de l'anatomie du corps humain ont été imprimés et déposée près de l'ordinateur. Une vérification de la batterie du dynamomètre et de son fonctionnement a aussi été effectuée.

À l'arrivée des participants au laboratoire, le déroulement du projet de recherche et une explication du fonctionnement sommaire des marqueurs étaient mentionnés aux participants et aux parents. Un numéro fictif du participant et l'heure d'arrivée étaient inscrits sur la feuille du protocole de recherche. Par la suite, les parents devaient lire et signer le formulaire de consentement.

Avant de débiter l'expérience, l'enfant s'est changé en tenue de sport que lui-même a apporté ou dans le cas échéant, une tenue sportive lui a été offerte. La masse et la taille de l'enfant ont été mesurées. Par la suite, la montre polar a été installée sur l'enfant tout en lui donnant des explications du fonctionnement de celle-ci. La ceinture qui comprend un émetteur de la fréquence cardiaque a été mise autour de la cage thoracique sous les pectoraux de l'enfant. Une partie de la ceinture a été humidifiée afin de mieux capter l'enregistrement de la fréquence cardiaque. Lorsqu'il avait des participants de sexe féminin, on a demandé à un des parents d'installer la ceinture en lui expliquant comment l'installer en s'assurant de lui indiquer que la partie humidifiée doit être placée sur le thorax de l'enfant. Par la suite, la fréquence cardiaque de repos a été évaluée. Les paramètres suivants ont été calculés à l'aide d'un ruban à mesurer et les informations ont été inscrites sur la feuille du protocole : longueur de la jambe (épine iliaque antérieure à la malléole latérale), largeur du pied (malléole latérale à la malléole médiale) et la largeur du genou (condyle latéral au condyle médiale). Ces mesures ont permis d'obtenir une meilleure précision de l'analyse cinématique lors de l'analyse des données. Une évaluation de la spasticité (uniquement chez l'enfant avec une CP) à l'articulation du



genou à l'aide de l'échelle modifiée d'Ashworth a été effectuée. Par la suite, une évaluation de la force maximale des articulations de la cheville, suivi du genou et pour terminer avec l'articulation de la hanche à l'aide d'un dynamomètre portable a été effectuée (Lafayette inc., Lafayette, É-U). La mesure de la force maximale a été alternée entre la jambe gauche et la jambe droite afin d'éviter une fatigue musculaire. Lors de l'évaluation de la force maximale, des encouragements standardisés ont été donnés à l'enfant. Pour ce qui est de l'évaluation de la force maximale à la cheville, l'enfant a été mis en position couchée et un expérimentateur a apposé le dynamomètre portable sur le pied tandis qu'un autre expérimentateur maintenait le genou de l'enfant sur place afin d'éviter qu'il compense avec d'autres muscles. Pour ce qui est de la flexion et l'extension du genou, une personne se tenait en position assise devant l'enfant qui était assis à l'extrémité du lit. L'enfant avait une ceinture attachée sur ses cuisses pour éviter qu'il bouge lors de l'exécution du mouvement demandé. Finalement, lors du test de force maximal de la hanche, l'enfant était en position couchée. Un expérimentateur apposait le dynamomètre portable sur sa cuisse alors qu'un deuxième expérimentateur tenait l'enfant aux épaules pour éviter que son corps se déplace. Après avoir évalué la force maximale des membres inférieurs, une évaluation de l'amplitude articulaire a été effectuée sur l'articulation de la hanche, du genou et finalement, de la cheville. Ainsi, pour chacune des articulations, le bras pivotant du goniomètre devait suivre le segment bougé par l'évaluateur tandis que le bras fixe du goniomètre était juxtaposé au segment fixe (par exemple, pour l'articulation du genou, le bras fixe était apposé sur le fémur et le bras pivotant sur le tibia). Les mesures ont été écrites sur la feuille de protocole. Par la suite, les 16 réflecteurs ont été apposés sur le corps de l'enfant suivant les recommandations du modèle d'Oxford à l'aide d'une feuille imprimée illustrant l'anatomie du corps humain (Gage, 1993). (Voir annexe 9).

Par la suite, afin d'évaluer les amplitudes articulaires pendant les périodes de jeux, un KAD (Knee Alignment Device) a été installé sur chaque genou du participant. Le KAD permet de représenter l'articulation du genou en trois dimensions. Le participant devait se tenir en position debout sans bouger pour une période de cinq secondes. Ensuite, les KAD ont été remplacées par deux réflecteurs. Un autre essai de cinq

secondes a été collecté afin de s'assurer que les caméras captaient tous les réflecteurs apposés sur le participant.

La console de jeu vidéo a été allumée pour créer l'avatar en lui attribuant un nom fictif pour que l'enfant puisse s'associer à cet avatar. Avant de commencer à jouer aux différents jeux, le participant a dû exécuter des tests d'équilibre sur la WiiFit™ afin de déterminer l'indice de masse corporel (IMC) et ainsi permettre d'obtenir une meilleure précision des mouvements effectués par l'enfant.

L'enfant devait jouer à chaque jeu pendant une durée de 10 minutes suivi d'un repos de 5 minutes pour éviter une accumulation de fatigue. L'ordre des jeux était aléatoire et avait été établi avant l'arrivée du participant. Cependant, les jeux aérobiques (course à pied et vélo) devaient être suivis d'un jeu sollicitant une récupération active (planche à neige et ski) Après chacun des jeux, l'enfant devait indiquer son appréciation du jeu sur une échelle allant de 1 à 10 (10 étant très apprécié et 1 n'étant pas du tout apprécié). Aussi, l'enfant devait noter la perception de l'effort du jeu sur une échelle visuelle de Borg.

À la fin de la période de jeu, les seize réflecteurs ont été enlevés du participant. L'arrêt de la montre Polar a ensuite été effectué, et la ceinture a été retirée. Ensuite, une somme de 20\$ a été remise au participant en guise de compensation. Avant leur départ, on a indiqué à la famille qu'ils recevront une version abrégée des résultats (voir annexe 10). La durée du protocole a varié entre 2 heures et 2 heures et 15 minutes par enfant.

#### 1.12 Quantification et analyses

L'analyse statistique a été effectuée sur tous les participants qui ont participé au projet. Les moyennes et écart-types ont été calculés pour chaque variable dépendante. Le test de Kolmogorov-Smirnov a été utilisé pour s'assurer une distribution normale des variables testées. Le test t pour variables indépendantes a été utilisé pour comparer les caractéristiques (âge, IMC, masse, taille) des deux groupes. Pour comparer les deux groupes pour les différents jeux, une ANOVA mixte à deux facteurs (groupes et jeux) (à

mesure répétée sur le facteur jeux) et des tests post-hoc de Tukey ont été utilisés afin de comparer les moyennes. Dans chaque cas, une valeur de  $p < 0,05$  a été considérée comme statistiquement significative. L'effet de taille a été calculée et interprétée à partir des lignes directrices de Cohen : 0.20 étant petit, 0.50 comme modéré et 0.80 comme large (Portney & Watkins, 2003). Toutes les statistiques ont été effectuées avec le logiciel SPSS (version 17.0).

Les niveaux d'intensité pour la fréquence cardiaque de réserve sont les suivantes : 0 à 40% pour une intensité légère, 40 à 60% pour une intensité modérée et 60 à 100% pour une intensité vigoureuse. À titre d'exemple, des exercices tels que le cyclisme, le jogging et le soccer sont considéré comme des activités physiques d'une intensité modérée tandis que la natation et la course à pied sont considérées comme des exercices vigoureux. ([www.csep.ca](http://www.csep.ca)).

EVALUATING EXERCISE INTENSITY LEVELS IN CHILDREN WITH CEREBRAL

PALSY PLAYING THE WII™

Maxime Robert, Laurent Ballaz, Raphael Hart, et Martin Lemay.

**Running head :**

Active video games in children with cerebral palsy

**Title:**

Evaluating exercise intensity levels in children with cerebral palsy playing the Wii™

**Authors:**

Maxime Robert, M.Sc (1, 2, 3), Laurent Ballaz, PhD (1, 2, 3), Raphael Hart, M. Sc (1, 2, 3), Martin Lemay, PhD (1, 2, 3)

(1) Centre de réadaptation Marie Enfant, CHU Sainte-Justine, Montréal, Québec, Canada

(2) Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada

(3) Groupe de recherche en Activité Physique Adaptée (GRAPA), Montréal, Québec, Canada

Corresponding author : Martin Lemay, Centre de réadaptation Marie Enfant, 5200

Bélanger Est, Montréal, Québec, Canada, H1T 1C9. Tel : 1+514+374+1710 ext. 8184;

Email : lemay.martin@uqam.ca

## **Abstract**

**Background:** Children with cerebral palsy are prone to secondary complications related to physical inactivity and poor cardiorespiratory capacity. This problem could be greatly attenuated through the use of video games that incorporate physical activity because video games already represent an important component of leisure time in younger people and such games can lead to a high level of exercise intensity in healthy individuals.

**Objectives:** To evaluate heart rate response and exercise intensity in children with spastic diplegic CP and typically developing (TD) children while playing the Wii Fit™ active video game console.

**Design:** Cross-sectional study.

**Methods:** Ten children (7-12 years old) with spastic diplegic CP (Gross Motor Function Classification System level I or II) and 10 TD age-matched children were evaluated in the movement analysis laboratory. Four games were played on the Wii Fit™ (jogging, bicycling, snowboarding and skiing) for a total of 40 minutes. Heart rate was recorded during the whole playing period with a heart rate belt monitor. Game intensity was defined as the percentage of heart rate reserve (HRR). Lower extremity motion analysis was also carried out on the final minute of the playing period for the jogging and bicycling games.

**Results:** No difference between groups was observed for any variables ( $p > 0.05$ ). A main effect of games was observed for the amount of time spent at an intensity greater than 40% of HRR. Specifically, >50% of the playing time for the jogging game and

>30% of the playing time for the bicycling game was spent over 40% of HRR. In addition, the jogging game produced a larger range of motion than the bicycling game.

**Conclusions:** For all four games, similar exercise intensity was observed for TD children and children with CP suggesting that children with CP could obtain similar exercise-related benefits as TD children while playing on the Wii Fit™.

**Manuscript word count :** 3197

## Introduction

In children with cerebral palsy (CP), reduced levels of physical activity increase the occurrence of secondary conditions as they age and can impact functional mobility and gait.(Rose, et al., 1990) In this population, the intensity of daily activities is usually too low to significantly improve physical fitness.(H. J. van den Berg-Emons, et al., 1995) The American Physical Therapy Association has emphasized the importance of identifying and promoting accessible physical exercise in children with CP in order to 1) reverse deconditioning secondary to impaired mobility and 2) optimize motor functions. However, various financial and societal barriers, such as a lack of equipment, availability of exercise instructors and access to adapted transportation, greatly limit the accessibility of physical activity for children with disabilities.(Fowler, et al., 2007) In this context, physical activity performed at home and independently by children with CP may be a suitable and pragmatic approach. Video games represent an important part of leisure time in younger people.(Marshall, Gorely, & Biddle, 2006) In the last decade, new types of consoles, namely active video game consoles (AVGCs), have provided an opportunity to transform what has traditionally been sedentary screen time into a period of physical activity.

AVGCs are based on virtual reality concepts and involve interactive physical activity.(LaViola, 2008) One commercially available AVGC, the Nintendo Wii™ (Nintendo, Redmond, WA), allows individuals to interact with a virtual environment and play a variety of sports games through the use of a handheld motion sensor (remote) or an instrumented platform (Wii Fit™). The player roughly reproduces movements similar to



those performed in real -life. For example, the player can control the direction of a virtual skier by changing the weight distribution between his feet. The Wii Fit™ can provide a large number of task repetitions, real-time feedback, a safe environment and a high level of motivation, which are among the key factors for a successful rehabilitation.(Snider & Majnemer, 2010) This inexpensive and commercially available technology has recently generated tremendous interest among physical therapists around the world. Several studies have shown that using AVGCs can lead to positive changes in the aerobic capacity of various asymptomatic and symptomatic populations (Deutsch, et al., 2008; Graf, et al., 2009; L. E. Graves, et al., 2010; Penko & Barkley, 2010), including adults with CP. (Hurkmans, et al., 2010)

In typically developing (TD) children, some studies have shown that playing with AVGCs result in exercise intensity levels exceeding the minimal exercise requirement(Graf, et al., 2009; Penko & Barkley, 2010). Other studies, on the other hand, have shown that exercise intensity was insufficient to meet the recommended requirements.(L. Graves, et al., 2007; White, et al., 2011) The types of games chosen could explain some of the discrepancies between these studies. Miyachi (2010)(Miyachi, et al., 2010) evaluated exercise intensity levels in 12 healthy adults on 68 games and showed that 22 out of 68 games demonstrated intensities equivalent or greater than that of moderate exercise. Of those 22 games, a majority (17/22) involved lower limb or full body movements.(Miyachi, et al., 2010) In a recent review, Biddiss (2010)(Biddiss & Irwin, 2010) proposed that games involving lower body or full body movements lead to

higher exercise intensity levels in comparison with games soliciting mostly upper limbs movements.

Movements in lower limbs are affected in children with spastic diplegic CP (Shortland, 2009), which could limit the benefits obtained by using the Wii™ for improving their physical fitness. One recent study in children with hemiplegic CP showed that a moderate level of exercise intensity could be achieved with the Wii™ in games mostly soliciting upper limb movements. (Howcroft, et al., 2012) However, to our knowledge, exercise intensity levels in children with spastic diplegic CP playing on the Wii™ have never been evaluated. The primary goal of the present study is to compare exercise intensity levels between children with spastic diplegic CP and TD children while playing on the Wii™ in games mainly soliciting lower limb movements. The secondary goal is to control for the possible influence of motor limitations (spasticity, limited range of motion, lower strength) on the exercise intensity levels.

## **Methods**

### **Participants**

Ten children between 7 and 12 years of age (4 boys, aged:  $9.1 \pm 2.02$  years) with spastic diplegic CP (level I and II on the Gross Motor Functional Classification Scale, GMFCS) were compared to ten TD age-matched participants aged between 7 and 12 years (5 boys, aged:  $9.4 \pm 1.78$  years). Inclusion criteria were the ability to follow simple verbal instructions, to maintain a standing position without support for at least 10 minutes and

normal or corrected to normal vision. Exclusion criteria were the inability to provide parental consent or participant assent, surgical procedures or Botox injection in the last 3 months and other known neurological problems (e.g. epilepsy). The study was approved by the ethics committee of the Sainte-Justine University Hospital Research Center and all parents and participants provided written informed assent.

Before the experiment, a number of measures were collected in the following order: resting heart rate, range of motion, spasticity and maximal strength. The participants were then asked to complete the different Wii™ tests that provide information to the player on how to use the Wii Fit™ and the remote controller. In order to calibrate the Wii Fit™ according to the weight of the participants, participants were asked to perform a balance test. Finally, participants played four games (skiing, jogging, snowboarding and bicycling) for 10 minutes each in a random order with a 5-minute rest period between games. A period of 10 minutes per game was used to obtain a valid measure of the heart rate response and to avoid excessive fatigue (for a similar procedure, see Worley et al., 2011; Lanningham-foster et al., 2009).(Lanningham-Foster, et al., 2009; Worley, et al., 2011) On some occasions, the game had to be restarted (e.g. at the end of a level), but this could be done very quickly (less than 5 seconds). The games were chosen because they mostly involve lower limbs movements. Preliminary testing (unpublished data) had shown that the jogging and the bicycling games led to moderate to intense energy expenditure in healthy participants. For the jogging game, the player follows a virtual guide by stepping in place with the remote in his pocket. During the biking game, players control the direction and speed of the bike by tilting the remote and by stepping in place

on the Wii Fit™ platform. The jogging and biking games are performed at a self-selected speed with relatively steady effort and therefore do not require short, intense bursts of effort. The skiing and snowboarding games were selected in order to allow for an active recovery period between the playing periods. These games require the player to produce an antero-posterior (snowboarding game) or medio-lateral (skiing game) weight transfer in order to control the displacement of an on-screen avatar. The selected games were chosen by two investigators (MR, LB) because the games appeared appropriate for children with CP and were associated with a high level of motivation. The order of presentation of the games was stratified-randomized in order to alternate between games expected to generate a high heart rate response (bicycling, jogging) and games expected to produce a low heart rate response (skiing, snowboarding). Before each game, the participants received standardized instructions on how to play.

Exercise intensity level was the primary outcome measure and was defined as the percent of heart rate reserve (heart rate reserve = maximal heart rate - rest heart rate). The heart rate reserve (HRR) has been used in other studies of children with CP.(Ballaz, et al., 2010; Retarekar, Fragala-Pinkham, & Townsend, 2009) Resting heart rate was evaluated after 10 minutes in a lying position using a heart rate belt monitor (Polar RS400, *Kempele*, Finland) and was defined as the minimum value recorded by the monitor. This monitor samples the heart rate every 5 seconds using a chest belt and transmits the data to a watch. Maximum heart rate was first calculated using the formula:  $208 - (\text{years} * 0.7)$ .(Machado & Denadai, 2011; Mahon, et al., 2010) The HRR was also calculated

using 194 as a maximum heart rate following the recommendation of Verschuren et al. (2011). (Verschuren, et al., 2011)

Heart rate was recorded during the entire playing period for all games. Heart rate measures have previously been used in children and adults to determine the intensity of exercise while playing AVGCS. (Graf, et al., 2009; Penko & Barkley, 2010; White, et al., 2011) Heart rate monitor devices do not restrict movements made by children (R. J. Van den Berg-Emons, et al., 1996), are less intimidating for children compared to indirect calorimetry, provide precise values, and have been extensively validated in prior studies (see Achten et al., 2003, for review). (Achten & Jeukendrup, 2003) The percentage of time spent at an intensity greater than 40% of the HRR (i.e. moderate/vigorous intensity or greater than 3 METs) was determined for each 10-minute game period. This threshold has been chosen in accordance with the American College of Sport Medicine (ACSM) advising that physical activity needs to be performed at an intensity superior to 40% of HRR to provide significant benefits to the cardiorespiratory system. (Strong, et al., 2005)

Secondary measures were collected to control for the possible influence of motor limitations on the heart rate response. Quadriceps spasticity was evaluated using the modified Ashworth scale at the knee articulation (flexion and extension). (Bohannon & Smith, 1987; Mutlu, et al., 2008) The modified Ashworth scale score is calculated based on a 6-point (0, 1, 1+, 2, 3, 4) scale, where lower values are associated with a lower level of spasticity. Spasticity can restrain movement and/or cause compensatory movements that could affect exercise intensity levels. (Balaban, et al., 2012) Range of motion was

measured using a goniometer. Passive flexion and extension range of motion of the following articulations was measured: hips, knees and ankles. Limitations in joint range of motion could lead to smaller movements, therefore reducing exercise intensity levels.(Waters & Mulroy, 1999) Maximal flexion and extension isometric strength was measured at the hip, knee and ankle joints using a hand held dynamometer (Lafayette inc, Lafayette, USA)(Gajdosik & Bohannon, 1987) A reduction in strength is associated with an increase in heart rate response in different exercises, such as walking.(Goh, Thompson, Huang, & Schafer, 2006) Handheld dynamometers have been validated to measure the maximal isometric strength in children with CP.(Taylor, et al., 2004) In the present study, the examiner held the device rigidly in place while the participant was encouraged (with standardized verbal encouragement) to push “as hard as possible” for 4 seconds. Once familiar with the task, each participant performed three maximal exertions for each muscle with at least a 30-second rest period between each exertion. Peak force was recorded by the dynamometer and the two highest values were retained. The values were then averaged and normalized with respect to body weight and lower limb length (Newtons×metre/ kilogram (Nm/kg)).(Damiano & Abel, 1998) Values obtained from the right and left sides were combined into one measure for each participant.

A kinematic analysis was also performed during game play of the jogging and the bicycling games using an 8-camera motion capture system recording at 60 Hz (Vicon 512, Oxford Metrics, Oxford, UK). These two games were expected to be associated with higher exercise intensity levels than the skiing and snowboarding games. They also require lifting the feet from the ground. The analysis was performed to evaluate whether



a larger range of motion would be associated with higher exercise intensity levels. Sixteen reflective markers were placed on the lower limbs at the following anatomic landmarks: the anterior superior iliac spines, posterior iliac spines, lateral aspect of the knee joints, lateral malleoli, heels, second metatarsals, and lateral aspects of the thigh and calf segments. The last 30 seconds of each game were recorded (for a similar procedure, see Berry et al., 2011). (Berry, et al., 2004) The following parameters were measured due to their potential impact on exercise intensity levels (Waters & Mulroy, 1999): hip flexion, hip extension, knee flexion, knee extension, ankle dorsiflexion and ankle plantar flexion.

Finally, after each game, participants completed the Borg Scale in order to quantify the perceived exertion on a scale from 6 (No exertion) to 20 (Maximal exertion). (Graf, et al., 2009) Prior studies have shown the Borg scale to have good validity and reliability among healthy children (Leung, Chung, & Leung, 2002) and the measure has been used in a previous study using the Wii™. (Graf, et al., 2009) The Borg scale has also been used to evaluate perceived exertion in children with CP. (D. Maltais, Wilk, Unnithan, & Bar-Or, 2004; McNevin, Coraci, & Schafer, 2000) Each participant also reported their degree of interest in the game on a numeric scale of 1 (not motivated) to 10 (very motivated).

Normality of the distributions was determined using the Kolmogorov-Smirnov test. To examine differences between groups and games, the main outcome measure was submitted to a 2 (Groups) x 4 (Games) analysis of variance (ANOVA) with repeated measurements on the last factor. Secondary measures were submitted independently to a

2 (Groups) x 2 (Games; jogging, bicycling) ANOVA with repeated measurements on the last factor. Effect size was also calculated by dividing the difference of the means for the outcome variable by the pooled SD, and was interpreted in accordance with Cohen's guidelines: 0.20 as small, 0.50 as moderate and 0.80 as large.(Portney & Watkins, 2003) All statistical analyses were performed with SPSS (version 17.0).

## Results

Characteristics of the participants are presented in Table 1. There was no significant difference between groups for age, height, weight, sex, body mass index and joint lower limbs range of motion ( $p > 0.05$ ). Dorsiflexion and the plantar flexion strength were lower in children with CP compared to TD children ( $p < 0.05$ ).

---

Insert Table 1 here

---

Resting heart rate was between 58 and 93 beats per minute (bpm) for an average of 74 bpm ( $\pm 10$ ) in children with CP and was between 53 and 81 bpm ( $68 \text{ bpm} \pm 7$ ) in TD children. Working heart rate was between 133 and 199 bpm ( $168 \text{ bpm} \pm 23$ ) in children with CP and between 119 and 197 bpm ( $158 \text{ bpm} \pm 30$ ) in TD children.

No significant difference was observed between groups for the percentage of time spent at an intensity greater than 40% of HRR ( $p > 0.05$ , see Figure 1 for details). However, a main effect of games was observed for the time spent at an intensity greater than 40% of

HRR ( $F(1, 18) = 16.538, p = 0.001, d = 0.970$ ). Participants spent more time at an intensity greater than 40% of the HRR for the jogging than all the other games. In addition, the bicycling game was significantly more demanding than the snowboarding game (See Figure 1 for details). These results were obtained with the estimation of the maximal HR based on the formula:  $208 - (\text{years} * 0.7)$ . (Machado & Denadai, 2011; Mahon, et al., 2010) These same results were observed when the maximal HR was determined using the formula proposed by Verschuren et al. (2011). (Verschuren, et al., 2011)

Concerning the secondary measures, the ANOVA showed no significant difference between groups ( $p > 0.05$ ). The range of motion for lower limb articulation was larger for the jogging game than for the bicycling game ( $p < 0.05$ ; see Table 2). The children's degree of interest did not vary between games ( $p > 0.05$ ), but the perceived exertion as measured by the Borg scale tended to be different between games ( $p = 0.058$ ; see Table 2 for details).

---

Insert Figure 1

---

---

Insert Table 2

---

## Discussion

Previous studies have shown that exercise intensity levels while playing the Wii™ can be sufficiently high in TD children to benefit the cardiorespiratory system, especially if the lower limbs are involved.(Foley & Maddison, 2010) However, it was not known whether children with CP could similarly benefit from this system. The results of the present study show a nearly identical heart rate response between children with CP and TD children for all tested games. This result suggests that AVGC systems such as the Wii™ could be used as an adjunct therapeutic tool to improve cardiorespiratory function(Strong, et al., 2005) in children with CP, at least for children who are ambulatory without devices.

The present results also showed that children with CP play in a similar fashion as their healthy counterparts, as shown by their similar range of motion for lower limb articulation. All other secondary measures were similar between groups, with the exception of the level of strength at the ankle which was lower in children with CP compared to TD children (see Mockford et al., 2008, for similar results).(Mockford & Caulton, 2008) This reduction in strength, however, did not affect exercise intensity levels. It should be noted that only children who scored at level I or II on the GMFCS participated in this study. Those children had minor motor dysfunctions that did not seem to interfere with the heart rate response.

The total relative time spent above a moderate intensity of exercise (above a 40% of HRR) differed greatly between the two games expected to produce a high heart rate response (jogging and bicycling). Accordingly, the perception of exertion as measured by

the Borg scale was significantly higher for jogging than for bicycling. These differences could be explained by a greater range of motion in lower limb articulation observed for the jogging game as compared to the bicycling game, confirming previous observations that larger movements elicit a greater heart rate response.(Desloovere, et al., 2006) Another explanation could be related to the different levels of complexity of the games. The bicycling game involved a dual-task (moving the legs while controlling the remote). According to Baranowski (2012)(Baranowski, et al., 2012), a more complex game could reduce the exercise intensity levels in children.

It is interesting to note that despite the fact that the jogging game was much more demanding than bicycling, the level of interest was similar between games. This demonstrates that a game can be both strenuous and motivating at the same time, which is an important factor in successful rehabilitation(Snider, et al., 2010) and for participation in physical activity.(DiLorenzo, Stucky-Ropp, Vander Wal, & Gotham, 1998; Penko & Barkley, 2010; Roemmich, et al., 2008)

The ACSM recommends that healthy children should participate in a minimum of 60 minutes of moderate to intense physical activity daily. In order to meet that recommendation, children would have to play the equivalent of 95 minutes of the jogging game or 210 minutes of the bicycling game. It is clearly unrealistic to expect children to achieve the recommendations of the ACSM solely using the Wii™. It should be noted, however, that boys and girls already spend an average of 59 and 23 minutes (respectively) playing passive video games each day (see Marshall et al., 2006, for

review).(Marshall, et al., 2006) This sedentary playing time could be converted to active playing time and complemented with other physical activities. It should also be mentioned that children with CP often have poor cardiorespiratory capacity. A smaller amount of physical activity is therefore required to observe positive adaptation in their cardio-respiratory systems.(Abel & Damiano, 1996)

A limitation of this study is the relatively small and heterogeneous sample which means that results must be confirmed with a larger sample. However, the results confirm previous studies in TD children showing that playing the Wii™ can result in adequate exercise intensity.(Graf, et al., 2009; Penko & Barkley, 2010) More importantly, the results clearly show that playing the jogging and bicycle Wii Fit™ games increases the heart rate response as much as moderate to vigorous intensity exercise in children with CP (with GMFCS level I and II).

## **Conclusion**

The regular use of the Wii Fit™ console could significantly improve aerobic capacity in children with CP. This system can be considered a low-cost, safe, readily available and efficient tool that can be used at home to improve the health of children with motor limitations such as CP. With proper supervision, this tool could also complement the work of clinicians in their effort to maintain and improve physical fitness in their patients. Further studies should look at the effects of long-term AVGC training on



children with CP. It would also be interesting to evaluate the benefits of using the Wii™ in children with CP with a GMFCS level III or higher.

**Acknowledgements :**

Authors would like to thank the children who participated in this study and their parents.

The authors report no conflict of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

## References

1. Rose J, Gamble JG, Burgos A, Medeiros J, Haskell WL. Energy expenditure index of walking for normal children and for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. Apr 1990;32(4):333-340.
2. van den Berg-Emons HJ, Saris WH, de Barbanson DC, Westerterp KR, Huson A, van Baak MA. Daily physical activity of schoolchildren with spastic diplegia and of healthy control subjects. *J Pediatr*. Oct 1995;127(4):578-584.
3. Fowler EG, Kolobe TH, Damiano DL, et al. Promotion of physical fitness and prevention of secondary conditions for children with cerebral palsy: section on pediatrics research summit proceedings. *Phys Ther*. Nov 2007;87(11):1495-1510.
4. Marshall SJ, Gorely T, Biddle SJ. A descriptive epidemiology of screen-based media use in youth: a review and critique. *J Adolesc*. Jun 2006;29(3):333-349.
5. LaViola JJ, Jr. Bringing VR and spatial 3D interaction to the masses through video games. *IEEE Comput Graph Appl*. Sep-Oct 2008;28(5):10-15.
6. Snider L, Majnemer A. Virtual reality: we are virtually there. *Phys Occup Ther Pediatr*. Feb 2010;30(1):1-3.
7. Graves LE, Ridgers ND, Williams K, Stratton G, Atkinson G, Cable NT. The physiological cost and enjoyment of Wii Fit in adolescents, young adults, and older adults. *J Phys Act Health*. May 2010;7(3):393-401.
8. Graf DL, Pratt LV, Hester CN, Short KR. Playing active video games increases energy expenditure in children. *Pediatrics*. Aug 2009;124(2):534-540.
9. Deutsch JE, Borbely M, Filler J, Huhn K, Guarrera-Bowlby P. Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Phys Ther*. Oct 2008;88(10):1196-1207.
10. Penko AL, Barkley JE. Motivation and physiologic responses of playing a physically interactive video game relative to a sedentary alternative in children. *Ann Behav Med*. May 2010;39(2):162-169.
11. Hurkmans HL, van den Berg-Emons RJ, Stam HJ. Energy expenditure in adults with cerebral palsy playing Wii Sports. *Arch Phys Med Rehabil*. Oct 2010;91(10):1577-1581.
12. Graves L, Stratton G, Ridgers ND, Cable NT. Comparison of energy expenditure in adolescents when playing new generation and sedentary computer games: cross sectional study. *BMJ*. Dec 22 2007;335(7633):1282-1284.
13. White K, Schofield G, Kilding AE. Energy expended by boys playing active video games. *J Sci Med Sport*. Mar 2011;14(2):130-134.
14. Miyachi M, Yamamoto K, Ohkawara K, Tanaka S. METs in adults while playing active video games: a metabolic chamber study. *Med Sci Sports Exerc*. Jun 2010;42(6):1149-1153.
15. Biddiss E, Irwin J. Active video games to promote physical activity in children and youth: a systematic review. *Arch Pediatr Adolesc Med*. Jul 2010;164(7):664-672.
16. Shortland A. Muscle deficits in cerebral palsy and early loss of mobility: can we learn something from our elders? *Dev Med Child Neurol*. Oct 2009;51 Suppl 4:59-63.

17. Howcroft J, Klejman S, Fehlings D, et al. Active video game play in children with cerebral palsy: potential for physical activity promotion and rehabilitation therapies. *Arch Phys Med Rehabil*. Aug 2012;93(8):1448-1456.
18. Worley JR, Rogers SN, Kraemer RR. Metabolic responses to wii fit video games at different game levels. *J Strength Cond Res*. Mar 2011;25(3):689-693.
19. Lanningham-Foster L, Foster RC, McCrady SK, Jensen TB, Mitre N, Levine JA. Activity-promoting video games and increased energy expenditure. *J Pediatr*. Jun 2009;154(6):819-823.
20. Ballaz L, Plamondon S, Lemay M. Ankle range of motion is key to gait efficiency in adolescents with cerebral palsy. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. Nov 2010;25(9):944-948.
21. Retarekar R, Fragala-Pinkham MA, Townsend EL. Effects of aquatic aerobic exercise for a child with cerebral palsy: single-subject design. *Pediatr Phys Ther*. Winter 2009;21(4):336-344.
22. Mahon AD, Marjerrison AD, Lee JD, Woodruff ME, Hanna LE. Evaluating the prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Res Q Exerc Sport*. Dec 2010;81(4):466-471.
23. Machado FA, Denadai BS. Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arq Bras Cardiol*. Aug 2011;97(2):136-140.
24. Verschuren O, Maltais DB, Takken T. The 220-age equation does not predict maximum heart rate in children and adolescents. *Dev Med Child Neurol*. Sep 2011;53(9):861-864.
25. Van den Berg-Emons RJ, Saris WH, Westerterp KR, van Baak MA. Heart rate monitoring to assess energy expenditure in children with reduced physical activity. *Med Sci Sports Exerc*. Apr 1996;28(4):496-501.
26. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med*. 2003;33(7):517-538.
27. Strong WB, Malina RM, Blimkie CJ, et al. Evidence based physical activity for school-age youth. *J Pediatr*. Jun 2005;146(6):732-737.
28. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther*. Feb 1987;67(2):206-207.
29. Mutlu A, Livanelioglu A, Gunel MK. Reliability of Ashworth and Modified Ashworth scales in children with spastic cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008;9:44.
30. Balaban B, Tok F, Tan AK, Matthews DJ. Botulinum toxin a treatment in children with cerebral palsy: its effects on walking and energy expenditure. *Am J Phys Med Rehabil*. Jan 2012;91(1):53-64.
31. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture*. Jul 1999;9(3):207-231.
32. Gajdosik RL, Bohannon RW. Clinical measurement of range of motion. Review of goniometry emphasizing reliability and validity. *Phys Ther*. Dec 1987;67(12):1867-1872.
33. Goh HT, Thompson M, Huang WB, Schafer S. Relationships among measures of knee musculoskeletal impairments, gross motor function, and walking efficiency in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*. Winter 2006;18(4):253-261.

34. Taylor NF, Dodd KJ, Graham HK. Test-retest reliability of hand-held dynamometric strength testing in young people with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* Jan 2004;85(1):77-80.
35. Damiano DL, Abel MF. Functional outcomes of strength training in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* Feb 1998;79(2):119-125.
36. Berry ET, Giuliani CA, Damiano DL. Intrasection and intersession reliability of handheld dynamometry in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther.* Winter 2004;16(4):191-198.
37. Leung ML, Chung PK, Leung RW. An assessment of the validity and reliability of two perceived exertion rating scales among Hong Kong children. *Percept Mot Skills.* Dec 2002;95(3 Pt 2):1047-1062.
38. McNevin NH, Coraci L, Schafer J. Gait in adolescent cerebral palsy: the effect of partial unweighting. *Arch Phys Med Rehabil.* Apr 2000;81(4):525-528.
39. Maltais D, Wilk B, Unnithan V, Bar-Or O. Responses of children with cerebral palsy to treadmill walking exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* Oct 2004;36(10):1674-1681.
40. Portney L, Watkins M. *Foundations of clinical research applications to practice.* 2nd ed. Connecticut: Appleton & Lange; 2003.
41. Foley L, Maddison R. Use of active video games to increase physical activity in children: a (virtual) reality? *Pediatr Exerc Sci.* Feb 2010;22(1):7-20.
42. Mockford M, Caulton JM. Systematic review of progressive strength training in children and adolescents with cerebral palsy who are ambulatory. *Pediatr Phys Ther.* Winter 2008;20(4):318-333.
43. Desloovere K, Molenaers G, Feys H, Huenaerts C, Callewaert B, Van de Walle P. Do dynamic and static clinical measurements correlate with gait analysis parameters in children with cerebral palsy? *Gait Posture.* Nov 2006;24(3):302-313.
44. Baranowski T, Abdelsamad D, Baranowski J, et al. Impact of an Active Video Game on Healthy Children's Physical Activity. *Pediatrics.* Mar 2012;129(3):e636-642.
45. Snider L, Majnemer A, Darsaklis V. Virtual reality as a therapeutic modality for children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil.* 2010;13(2):120-128.
46. Roemmich JN, Barkley JE, Lobarinas CL, Foster JH, White TM, Epstein LH. Association of liking and reinforcing value with children's physical activity. *Physiol Behav.* Mar 18 2008;93(4-5):1011-1018.
47. DiLorenzo TM, Stucky-Ropp RC, Vander Wal JS, Gotham HJ. Determinants of exercise among children. II. A longitudinal analysis. *Prev Med.* May-Jun 1998;27(3):470-477.
48. Abel MF, Damiano DL. Strategies for increasing walking speed in diplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* Nov-Dec 1996;16(6):753-758.

Table 1. Characteristics of participants

	CP group (n = 10)	TD group (n=10)	Statistical test
Weight (kg)	34.47 (13.08)	32.45 (9.12)	$t(18) = 0.160, P = 0,69$
Height (cm)	135 (15)	134 (13)	$t(18) = 0.027, P = 0,87$
Sex (male:female)	4 : 6	5 : 5	$\chi^2 = 0.20, p = 0.99$
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	18.19 (3.62)	17.81 (3.73)	$t(18) = 0.055, P = 0.82$
GMFCS (level1 : level 2)	6 : 4	N/A	N/A
Knee flexion (Nm/kg)	2.27 (0.83)	2.29 (0.43)	$t(18) = 0.006, P = 0.94$
Knee extension (Nm/kg)	4.58 (0.99)	5.14 (0.73)	$t(18) = 2.081, P = 0.17$
Hips flexion (Nm/kg)	1.04 (0.34)	1.34 (0.30)	$t(18) = 3.761, P = 0.06$
Hips extension (Nm/kg)	2.88 (1.07)	3.16 (0.56)	$t(18) = 0.326, P = 0.58$
Ankle dorsi-flexion (Nm/kg)	2.26 (0.93)	3.45 (1.44)	$t(17) = 4.431, P = 0.05$
Ankle plantarflexion (Nm/kg)	4.62 (1.13)	6.06 (1.52)	$t(17) = 5.342, P = 0.03^*$
Spasticity	0.73 (0.72)	N/A	N/A

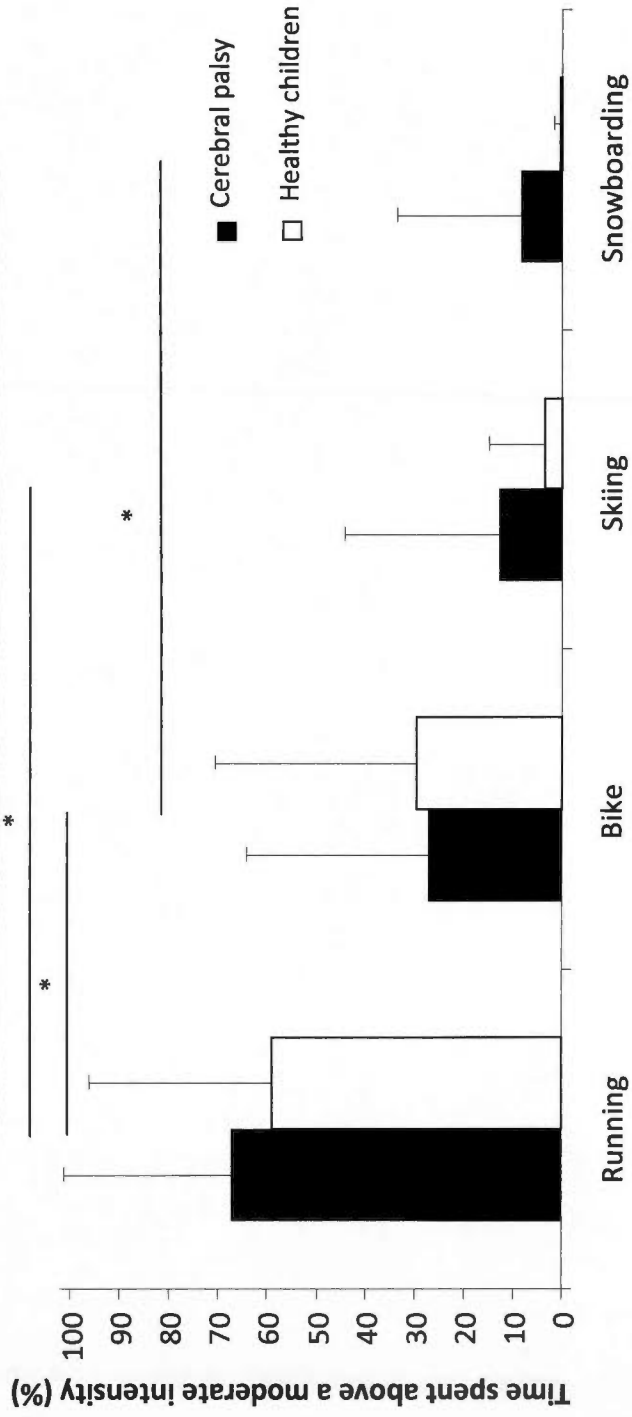


1

Table 2 : Secondary measures

	CP group (n = 10)		TD group (n = 10)		Groups		Games		Groups x Games	
	Jogging	Bicycling	Jogging	Bicycling	F	p	d	F	p	p
ROM										
Ankle	8.88 (3.14)	5.93 (4.93)	6.72 (2.71)	4.19 (2.01)	2.228	0.153	0.293	13.394	0.002†	0.078
Knee	20.81 (7.24)	15.27 (4.8)	19.63 (4)	15.30 (5.41)	0.069	0.796	0.057	20.115	<0.001†	0.587
Hips	15.01 (6.24)	11.02 (4.92)	13.01 (4.25)	11.81 (4.58)	0.073	0.789	0.058	8.514	0.009†	0.152
Borg	11.8 (4.71)	10.3 (2.95)	11.89 (2.26)	9.6 (2.95)	0.028	0.868	0.053	4.144	0.058	0.119
Motivation	7.9 (2.88)	7.64 (2.84)	7.38 (2.72)	7.89 (1.90)	0.018	0.894	0.052	0.031	0.862	0.315
										0.583

2



**Figure legends****Figure 1:**

Comparison of the percentage of time spent at an intensity greater than 40% of HRR between TD children and children with CP, and between games. No significant difference was observed between groups but several significant differences were observed between games. HRR : Heart rate reserve; CP : cerebral palsy; TD : typically developing.

## DISCUSSION ET CONCLUSION

Certaines études ont démontré qu'il est possible d'atteindre une intensité d'exercice modérée (i.e.  $> 3$  METS) en jouant à la Wii™ (Foley et al., 2010). Une telle intensité est nécessaire afin d'améliorer les capacités cardiorespiratoires (Strong et al., 2005). La sollicitation des membres inférieurs lors des périodes de jeux faciliterait l'atteinte d'une intensité modérée (Miyachi, 2012). Or, les enfants avec une paralysie cérébrale de type spastique diplégique présentent une atteinte des membres inférieurs qui pourrait affecter leur capacité à atteindre des niveaux d'intensité suffisants avec la Wii™. L'hypothèse principale du présent mémoire était que la console de jeux vidéo actifs Wii™ sollicitera de manière efficace (i.e : intensité modérée) la capacité aérobie chez les enfants sains et avec CP. Cependant, comparativement aux enfants sains, les enfants avec la CP solliciteront de manière moins efficace la capacité aérobie.

Les résultats permettent de conclure qu'il est possible d'atteindre une intensité d'exercice modérée avec la Wii™ pour le jeu de course à pied et de vélo. Contrairement à notre hypothèse, les enfants avec la CP ont obtenu un niveau d'intensité similaire aux enfants sains. De façon similaire, la perception de l'effort mesurée par l'échelle de Borg est similaire entre les deux groupes. Le niveau d'intensité d'exercice est semblable entre les deux groupes pourrait s'expliquer entre autre par le fait que les enfants avec la CP ont des atteintes motrices légères (GMFCS niveau I et II). D'ailleurs, on observe que l'amplitude articulaire lors des jeux de même que la force au niveau de la hanche et du genou est similaire entre les deux groupes. Cependant, la force de la cheville s'avère inférieur pour les enfants avec la CP comparativement aux enfants sains (pour des conclusions similaires, voir la revue de littérature de Mockford et al., 2008), toutefois, cette réduction de force ne semble pas affecter le niveau d'intensité des exercices.

Bien que l'intensité des exercices soit similaire entre les groupes, l'intensité variait entre les jeux. En effet, le jeu de course à pied nécessitait un plus grand effort comparativement aux autres jeux. Cette différence peut s'expliquer par une plus grande amplitude articulaire des membres inférieurs pendant le jeu de jogging comparativement au jeu de vélo. De plus, la complexité des jeux peut expliquer la différence du niveau d'intensité des exercices. En effet, le

jeu de vélo mettait les participants en situation de double tâche (bouger les membres inférieurs tout en contrôlant la manette avec les membres supérieurs) contrairement au jeu de course à pied qui nécessite uniquement l'action de marcher sur place. Selon Baranowski (2012), un jeu plus complexe a comme conséquence de diminuer le niveau d'intensité chez les enfants.

Ce projet démontre donc que la Wii™ permet d'effectuer exercice d'intensité modéré chez des enfants sains et avec une CP. Des périodes de jeux sur la Wii™ pourrait donc être combinées à d'autres exercices afin d'atteindre la recommandation de la SCPE de 60 minutes d'exercice d'intensité modérée par jour.

## RETOMBÉES CLINIQUES ET PERSPECTIVES

Les retombés cliniques de ce projet sont nombreuses pour les cliniciens. L'utilisation de la Wii™ comme outil de réadaptation pourrait être ajouté dans la pratique des cliniciens afin d'améliorer les capacités aérobiques des enfants avec une CP. De plus, ce nouvel outil permet de garder un intérêt élevé de la part des enfants avec la CP. Or, un niveau de motivation élevé est un élément important pour assurer le succès d'un programme de réadaptation (Snider & Majnemer, 2010).

Suite à cette étude, plusieurs questions restent en suspens concernant l'utilisation de la Wii™ dans le domaine de la réadaptation. Tout d'abord, il serait intéressant de vérifier si les bénéfices sont applicables à une population présentant une atteinte motrice plus sévère (e.g niveaux III ou IV sur le GMFCS) puisqu'il est difficile d'établir des programmes d'entraînement efficace pour cette clientèle. Il serait aussi intéressant de vérifier les bénéfices à long terme. Ainsi, une étude ciblant un entraînement de plusieurs semaines chez des enfants avec la CP nous permettrait de quantifier l'amélioration de la condition physique en utilisant la Wii™.

Il serait aussi intéressant d'évaluer le niveau d'intensité de l'exercice d'un enfant qui joue à d'autres jeux vidéo actif, tel que la Kinect™. Contrairement à la Wii™, la Kinect™ utilise l'ensemble des mouvements du corps du joueur pour faire progresser l'avatar, ce qui pourrait permettre d'atteindre un niveau d'intensité encore plus élevé.



## ANNEXE 1 : LIGNES DIRECTRICES POUR LES ENFANTS ÂGÉS DE 5 À 11 ANS

# Directives canadiennes en matière d'activité physique

À L'INTENTION DES ENFANTS ÂGÉS DE 5 À 11 ANS

## Directives



Pour favoriser la santé, les enfants âgés de 5 à 11 ans devraient faire chaque jour au moins 60 minutes d'activité physique d'intensité modérée à élevée. Cela devrait comprendre :



Des activités d'intensité élevée au moins trois jours par semaine.



Des activités pour renforcer les muscles et les os au moins trois jours par semaine.



S'adonner chaque jour à encore plus d'activité physique entraîne plus de bienfaits pour la santé.

### Parlons d'intensité!

Pendant une activité physique d'intensité modérée, les enfants transpireront un peu et respireront plus fort. Des exemples d'activités :

- Des activités de terrain de jeux
- Le cyclisme

Pendant une activité physique d'intensité élevée, les enfants transpireront et seront essouffés. Des exemples d'activités :

- La course
- La natation

### Être actifs pendant au moins 60 minutes chaque jour peut aider les enfants à :

- Améliorer leur santé
- Avoir un meilleur rendement à l'école
- Améliorer leur condition physique
- Devenir plus forts
- Avoir du plaisir à jouer avec des amis
- Se sentir plus heureux
- Maintenir un poids corporel santé
- Améliorer leur confiance en soi
- Développer de nouvelles habiletés

Les parents et les personnes qui prennent soin des enfants peuvent aider à la planification quotidienne de leurs activités. Les enfants peuvent :

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Jouer à la tague ou à la tague gelée!</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Aller dans un terrain de jeux après l'école.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Se rendre à l'école à pied, à vélo, en patins à roues alignées ou en planche à roulettes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Jouer à un jeu actif lors de la récréation.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Aller glisser en toboggan au parc pendant le week-end.</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Aller sauter à cloche-pied dans les trous d'eau par un jour de pluie.</li> </ul> |
|--|--|

**60 minutes par jour –  
vous pouvez aider votre  
enfant à y arriver!**



LA SOCIÉTÉ CANADIENNE D'ÉDUCATION DE LA PHYSIQUE ET DU BIEN-ÊTRE POUR ENFANTS  
[www.csep.ca/directives](http://www.csep.ca/directives)

# Recherche sur l'effet de la Wii sur l'efficience de la marche

## RECHERCHE DE PARTICIPANTS

Le département de recherche du CRME est à la recherche de personnes en bonne forme physique et mentale afin de participer à une étude visant les effets biomécaniques et physiologiques de la console de jeu vidéo Wii. Votre participation consiste en une seule visite d'une durée d'environ de 2 heures. Vous allez jouer à plusieurs jeux durant la séance en position debout avec des repos alloués entre chaque jeu.

Nous avons besoin de femmes et d'hommes âgé (e)s entre 7 et 12 ans.

Pour participer ou s'informer, contactez Dr. Martin Lemay au 514-374-1710 poste 8184 ou par courriel : [lemay.martin@uqam.ca](mailto:lemay.martin@uqam.ca).

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

514-374-1710 #8184

[Lemay.martin@uqam.ca](mailto:Lemay.martin@uqam.ca)

## ANNEXE 3 : GMFCS

**TABLE 4**  
**Gross Motor Function Classification System for Cerebral Palsy**

**Before second birthday**

Level I	Infants move in and out of sitting and floor sit with both hands free to manipulate objects. Infants crawl on hands and knees, pull to stand, and take steps holding onto furniture. Infants walk between 18 months and two years of age without the need for any assistive mobility device.
Level II	Infants maintain floor sitting but may need to use their hands for support to maintain balance. Infants creep on their stomachs or crawl on hands and knees. Infants may pull to stand and take steps holding onto furniture.
Level III	Infants maintain floor sitting when the low back is supported. Infants roll and creep forward on their stomachs.
Level IV	Infants have head control but trunk support is required for floor sitting. Infants can roll to supine and may roll to prone.
Level V	Physical impairments limit voluntary control of movement. Infants are unable to maintain antigravity head and trunk postures in prone and sitting. Infants require adult assistance to roll.

**Between second and fourth birthdays**

Level I	Children floor sit with both hands free to manipulate objects. Movements in and out of floor sitting and standing are performed without adult assistance. Children walk as the preferred method of mobility without the need for any assistive mobility device.
Level II	Children floor sit but may have difficulty with balance when both hands are free to manipulate objects. Movements in and out of sitting are performed without adult assistance. Children pull to stand on stable surface. Children crawl on hands and knees with a reciprocal pattern, cruise holding onto furniture, and walk using an assistive mobility device as preferred methods of mobility.
Level III	Children maintain floor sitting often by "w-sitting" (sitting between flexed and internally rotated hips and knees) and may require adult assistance to assume sitting. Children creep on the stomach or crawl on hands and knees (often without reciprocal leg movements) as their primary methods of self-mobility. Children may pull to stand on a stable surface and cruise short distances. Children may walk short distances indoors using an assistive mobility device and adult assistance for steering and turning.
Level IV	Children floor sit when placed but are unable to maintain alignment and balance without use of their hands for support. Children commonly require adaptive equipment for sitting and standing. Self-mobility for short distances (within a room) is achieved through rolling, creeping on the stomach, or crawling on hands and knees without reciprocal leg movement.
Level V	Physical impairments restrict voluntary control of movement and the ability to maintain antigravity head and trunk postures. All areas of motor function are limited. Functional limitations in sitting and standing are not fully compensated for through the use of adaptive equipment and assistive technology. Children at level V have no means of independent mobility and are transported. Some children achieve self-mobility using a power wheelchair with extensive adaptations.

**Between fourth and sixth birthdays**

Level I	Children get into and out of, and sit in, a chair without the need for hand support. Children move from the floor and from chair sitting to standing without the need for objects for support. Children walk indoors and outdoors and climb stairs. Emerging ability to run and jump.
Level II	Children sit in a chair with both hands free to manipulate objects. Children move from the floor to standing and from chair sitting to standing but often require a stable surface to push or pull up on with their arms. Children walk without the need for any assistive mobility device indoors and for short distances on level surfaces outdoors. Children climb stairs holding onto a railing but are unable to run or jump.

*continued*

TABLE 4 (continued)

**Gross Motor Function Classification System for Cerebral Palsy****Between fourth and sixth birthdays (continued)**

- Level III** Children sit on a regular chair but may require pelvic or trunk support to maximize hand function. Children move in and out of chair sitting using a stable surface to push or pull upon with their arms. Children walk with an assistive mobility device on level surfaces and climb stairs with assistance from an adult. Children commonly are transported when travelling for long distances or outdoors on uneven terrain.
- Level II** Children sit on a chair but need adaptive seating for trunk control and to maximize hand function. Children move in and out of chair sitting with assistance from an adult or a stable surface to push or pull upon with their arms. At best, children may walk short distances with a walker and adult supervision but have difficulty turning and maintaining balance on uneven surfaces. Children are transported in the community. Children may achieve self-mobility using a power wheelchair.
- Level I** Same as between second and fourth birthday.

**Between sixth and twelfth birthdays**

- Level I** Children walk indoors and outdoors and climb stairs without limitations. Children perform gross motor skills including running and jumping but speed, balance, and coordination are reduced.
- Level II** Children walk indoors and outdoors and climb stairs holding onto a railing, but they experience limitations walking on uneven surfaces and inclines, and walking in crowds or confined spaces. Children have at best only minimal ability to perform gross-motor skills such as running and jumping.
- Level III** Children walk indoors and outdoors on a level surface with an assistive mobility device. Children may climb stairs holding onto railing. Depending on upper limb function, children propel a wheelchair manually or are transported when travelling for long distances or outdoors on uneven terrain.
- Level IV** Children may maintain levels of function achieved before six years of age or rely more on wheeled mobility at home, school, and in the community. Children may achieve self-mobility using a power wheelchair.
- Level V** Same as between second and fourth birthdays.

**Distinctions between levels I and II**

Compared with children in level I, children in level II have limitations in the ease of performing movement transitions, walking outdoors and in the community, the need for assistive mobility devices when beginning to walk, quality of movement, and the ability to perform gross-motor skills such as running and jumping.

**Distinctions between levels II and III**

Differences are seen in the degree of achievement of functional mobility. Children in level III need assistive mobility devices and often need orthoses to walk, whereas children in level II do not require assistive mobility devices after four years of age.

**Distinctions between levels III and IV**

Differences in sitting ability and mobility exist, even allowing for extensive use of assistive technology. Children in level III sit independently, have independent floor mobility, and walk with assistive mobility devices. Children in level IV function in sitting (usually supported), but independent mobility is very limited. Children in level IV are more likely to be transported or to use power mobility.

**Distinctions between levels IV and V**

Children in level V lack independence even in basic antigravity postural control. Self-mobility is achieved only if the child can learn how to operate an electronically powered wheelchair.

*Adapted with permission from Palfano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 1997;39:221-2.*





CHU Sainte-Justine  
Le centre hospitalier  
universitaire mère-enfant

Pour l'amour des enfants

## ANNEXE 4 : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

### FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT POUR LA PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE

**Titre du projet : ÉVALUATION D'UNE NOUVELLE APPROCHE POUR LA  
RÉÉDUCATION DE LA MARCHÉ CHEZ L'ENFANT ATTEINT  
D'UNE DÉFICIENCE MOTRICE CÉRÉBRALE.**

**Chercheurs : M. Lemay PhD, L. Ballaz PhD.**

**Institution : CHU Sainte-Justine – Centre de réadaptation Marie Enfant**

**Financement : Institut de Recherche en Santé du Canada**

*Pour évaluer les sollicitations provoquées par les jeux vidéos actifs chez l'enfant sain et chez l'enfant avec un déficit moteur cérébral, nous vous demandons de participer à un projet d'étude concernant les réponses physiologiques (battement du coeur) et biomécaniques (mouvements réalisés, force sollicitée) induites par différents jeux de la console de jeu Wii. Nous sollicitons aujourd'hui la participation de votre enfant et nous vous invitons à bien lire ce formulaire et à poser toutes les questions que vous jugez utiles aux chercheurs avant d'y apposer votre signature.*

#### 1. DESCRIPTION DU PROJET DE RECHERCHE :

##### 1.1. Justification de la recherche :

Il est reconnu que la pratique régulière d'une activités physiques joue un rôle important dans le maintien de la forme physique chez l'enfant sain et chez l'enfant avec un déficit moteur cérébral. Toutefois, le manque d'infrastructures, d'équipements et de transports appropriés représentent les principales barrières pour pratiquer une activité physique chez les enfants avec un déficit moteur cérébral. Les nouvelles consoles de jeux vidéo actifs sollicitent à la fois les capacités cardio-respiratoires, les fonctions motrices et l'équilibre. Ces consoles de jeux pourraient possiblement être utilisées au domicile des enfants pour améliorer l'efficacité de leur marche.

##### 1.2. Description de la recherche :

L'objectif de cette recherche est de comparer les sollicitations biomécaniques (mouvements réalisés, niveau d'activité des muscles) et physiologiques (battements du coeur) induites par l'utilisation de la Wii™ chez des enfants avec un déficit moteur cérébral et chez des enfants sains. Nous souhaitons également évaluer l'intérêt suscité par les jeux de cette console.



## **2. DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE**

### **2.1. Déroulement général de l'étude :**

Quatorze adolescents avec un DMC et 14 enfants sains (sans atteinte neurologique) participeront à cette étude. Si vous acceptez de participer, votre enfant devra se rendre au laboratoire d'analyse du mouvement du Centre de Réadaptation Marie Enfant du CHU Sainte Justine. Votre enfant jouera successivement à plusieurs jeux pendant une durée d'environ 45 minutes (comprenant les périodes de repos). Après une période de familiarisation, plusieurs mesures (décrites ci-dessous) seront effectuées en situation de jeu. Un repos de 5 minutes sera imposé entre chaque période de jeu. Avant la réalisation de ces jeux, une analyse quantifiée de la marche, de la posture, de la force musculaire et du niveau fonctionnel seront réalisées. L'ensemble de ces mesures sera réalisé en environ 2h30.

### **2.2. Mesures réalisées**

#### **a) Analyse du mouvement lors du jeu**

Pour réaliser l'analyse du mouvement lors du jeu des petites boules réfléchissantes (5mm de diamètre) en mousse seront placées au niveau des articulations des bras et des jambes de votre enfant. Elles se fixent avec un adhésif. Jusqu'à présent, il n'a eu aucune réaction allergique au ruban adhésif. Cependant, si votre enfant développe une réaction, une autre approche sera utilisée. Des électrodes auto-adhésives seront également placées au niveau des principaux muscles de la jambe pour enregistrer leurs activités lors du jeu. Ces enregistrements sont totalement indolores et une fois retirées ces électrodes ne laissent aucune marque sur la peau. Pour analyser les mouvements réalisés par votre enfant il lui sera demandé de jouer, vêtu d'un short et d'un t-shirt, devant des caméras. Celles-ci enregistrent uniquement le déplacement des boules réfléchissantes et permettent ainsi une description précise, en trois dimensions du mouvement de votre enfant.

#### **b) Force musculaire des membres inférieurs**

La force musculaire isométrique (i.e. sans déplacement du membre) sera mesurée au niveau des articulations de la hanche, du genou et de la cheville. Pour chacune des articulations, la force musculaire sera mesurée en flexion et en extension. Votre enfant sera placé en position assise pour tester la force au niveau du genou, et en position allongée pour les articulations de la hanche et de la cheville. Pour ces évaluations, il sera demandé à votre enfant de pousser le plus fort possible avec le membre testé contre un appareil mesurant les forces, maintenu en position fixe par un physiothérapeute. Cette personne est expérimentée dans la réalisation de ces mesures.

#### **c) Efficacité de la marche**

Il sera demandé à votre enfant de marcher pendant 5 minutes à sa vitesse de confort. Lors de ce test, le rythme cardiaque sera mesuré en continu par une ceinture placée sous ses vêtements, au niveau de la poitrine. Une quantification indirecte de la dépense énergétique pourra ainsi être réalisée.

#### **d) Analyse quantifiée de la marche**

Une analyse de la marche sera effectuée suivant la même méthodologie que celle utilisée pour l'enregistrement du mouvement et de l'activité des muscles lors du jeu (placement des boules

réfléchissantes, placement des électrodes). Pour analyser la marche de votre enfant il lui sera demandé de marcher, sur une distance de 8 mètres. Votre enfant réalisera 6 trajets de 8 mètres, une pause sera respectée entre chaque essai.

#### **e) Évaluation de la posture :**

Il sera demandé à votre enfant de se tenir debout, immobile, sur une plateforme de force pendant 30 secondes. Six essais seront réalisés : 3 avec les yeux ouverts et 3 avec les yeux fermés. Les déplacements de votre enfant seront enregistrés par les capteurs de la plateforme mesurant le déplacement du centre de pression.

#### **2.3. Informations médicales :**

L'équipe de recherche aura besoin de plusieurs informations pertinentes au projet. Quelques questions rapides vous seront posées pour vérifier si l'ensemble des critères d'inclusion est respecté. Pour les enfants avec un déficit moteur cérébral, ces critères incluent un diagnostic du développement moteur et cognitif de l'enfant. Des questions concernant la médication de votre enfant vous seront aussi posées. Le dossier médical de votre enfant pourra être consulté.

### **3. BÉNÉFICES**

Votre enfant ne tirera aucun bénéfice direct en participant à cette étude. Les résultats que nous obtiendrons nous permettront de faire avancer l'état des connaissances dans le domaine. Les résultats des enfants avec un déficit moteur cérébral pourront être consultés par le médecin pour mieux adapter la conduite de son traitement. Sur simple demande, nous vous transmettons les résultats généraux de cette recherche, une fois l'étude terminée.

### **4. RISQUES ET INCONVÉNIENTS :**

Les évaluations liées à la présente recherche ne présentent aucun risque de douleur ou de blessure. Les risques liés à la pratique d'un jeu vidéo actif sont les mêmes risques que ceux d'un exercice physique classique. Les risques sont une blessure musculo-tendineuse et articulaire par la réalisation d'un geste inadéquat. La supervision de ces évaluations par un kinésiologue habitué à travailler avec des enfants présentant un déficit moteur cérébral limite ces risques.

### **5. CONFIDENTIALITÉ**

Tous les renseignements obtenus sur votre enfant seront traités de façon confidentielle, à moins d'une autorisation de votre part ou d'une exception de la loi. Ces renseignements seront rendus confidentiels par l'attribution de numéros de code et seuls les chercheurs impliqués dans l'étude auront accès à la clef de ce code. Les dossiers de recherche seront conservés pendant 10 années après la fin de la recherche, sous la responsabilité de Martin Lemay, au CHU Sainte Justine. Pour les enfants avec un déficit moteur cérébral, la participation de votre enfant et les résultats de la recherche pourront être inscrits dans son dossier médical et consultés par le médecin pour mieux adapter la conduite du traitement de votre enfant. A des fins de contrôle du projet de recherche, le dossier de recherche et le dossier médical de votre enfant pourra être consulté par des représentants du comité

d'éthique de la recherche et des organismes subventionnaires. Tous adhèrent à une politique de stricte confidentialité. À des fins de protection, le Ministère de la santé et des services sociaux pourrait avoir accès à votre nom et prénom ainsi que ceux de votre enfant, ses coordonnées, la date de début et de fin de sa participation au projet jusqu'à un an après la fin de projet. Par ailleurs, les résultats de cette étude pourront être publiés ou communiqués par d'autres moyens, mais il sera impossible d'identifier votre enfant.

#### **6. ÉVENTUALITÉ D'UNE SUSPENSION DE L'ÉTUDE :**

La participation à l'étude peut être interrompue par le chercheur s'il croit que c'est dans l'intérêt du participant ou si le participant ne répondait plus aux critères de sélection.

#### **7. LIBERTÉ DE PARTICIPATION ET LIBERTÉ DE RETRAIT DE L'ÉTUDE :**

La participation de votre enfant à cette étude est tout à fait volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser qu'il y participe et vous pouvez le retirer de l'étude en tout temps, sur simple déclaration verbale, sans avoir à donner de raison et sans que cela n'affecte les traitements auxquels votre enfant a droit, ni ne nuise aux relations avec le médecin et autres intervenants.

#### **8. COMPENSATION**

Une indemnité compensatoire de 20 dollars sera remise à votre enfant dans une enveloppe à votre nom lors de chacune de ces venues au laboratoire (évaluations pré et post entraînement).

#### **9. PERSONNES-RESSOURCES :**

Si vous avez des questions supplémentaires au sujet de la participation de votre enfant à cette étude, incluant les risques possibles, vous pouvez contacter M. Martin Lemay au 514-374-1710 poste 8184.

Pour tout renseignement sur les droits de votre enfant à titre de participant à ce projet de recherche, vous pouvez contacter le commissaire local aux plaintes et à la qualité des services de l'hôpital au 514-345-4749.

Une copie signée de ce formulaire de consentement vous sera remise.

#### **10. RESPONSABILITÉ :**

En signant ce formulaire de consentement, vous ne renoncez à aucun de vos droits prévus par la loi ni à ceux de votre enfant. De plus, vous ne libérez pas les investigateurs et le promoteur de leur responsabilité légale et professionnelle.

## CONSENTEMENT

### Déclaration du participant :

*On m'a expliqué la nature et le déroulement du projet de recherche. J'ai pris connaissance du formulaire de consentement et on m'en a remis un exemplaire. J'ai eu l'occasion de poser des questions auxquelles on a répondu. Après réflexion, j'accepte que mon enfant participe à ce projet de recherche. J'autorise l'équipe de recherche à consulter le dossier médical de mon enfant pour obtenir les informations pertinentes à ce projet.*

\_\_\_\_\_  
Nom de l'enfant  
(Lettres moulées)

\_\_\_\_\_  
Assentiment de l'enfant capable de  
comprendre la nature du projet  
(Signature)

\_\_\_\_\_  
Date

*Assentiment verbal de l'enfant incapable de signer mais capable de comprendre la nature de ce projet: oui\_\_\_ non\_\_\_*

\_\_\_\_\_  
Nom du parent, tuteur légal  
(participant de moins de 18 ans)  
Nom du participant de plus  
de 18 ans  
(Lettres moulées)

\_\_\_\_\_  
Consentement (signature)

\_\_\_\_\_  
Date




*J'ai expliqué au participant et/ou à son parent/tuteur tous les aspects pertinents de la recherche et j'ai répondu aux questions qu'ils m'ont posées. Je leur ai indiqué que la participation au projet de recherche est libre et volontaire et que la participation peut être cessée en tout temps.*

\_\_\_\_\_  
Nom de la personne qui a obtenu  
le consentement (Lettres moulées)

\_\_\_\_\_  
Signature

\_\_\_\_\_  
Date

## ANNEXE 5 : ÉCHELLE DE BORG

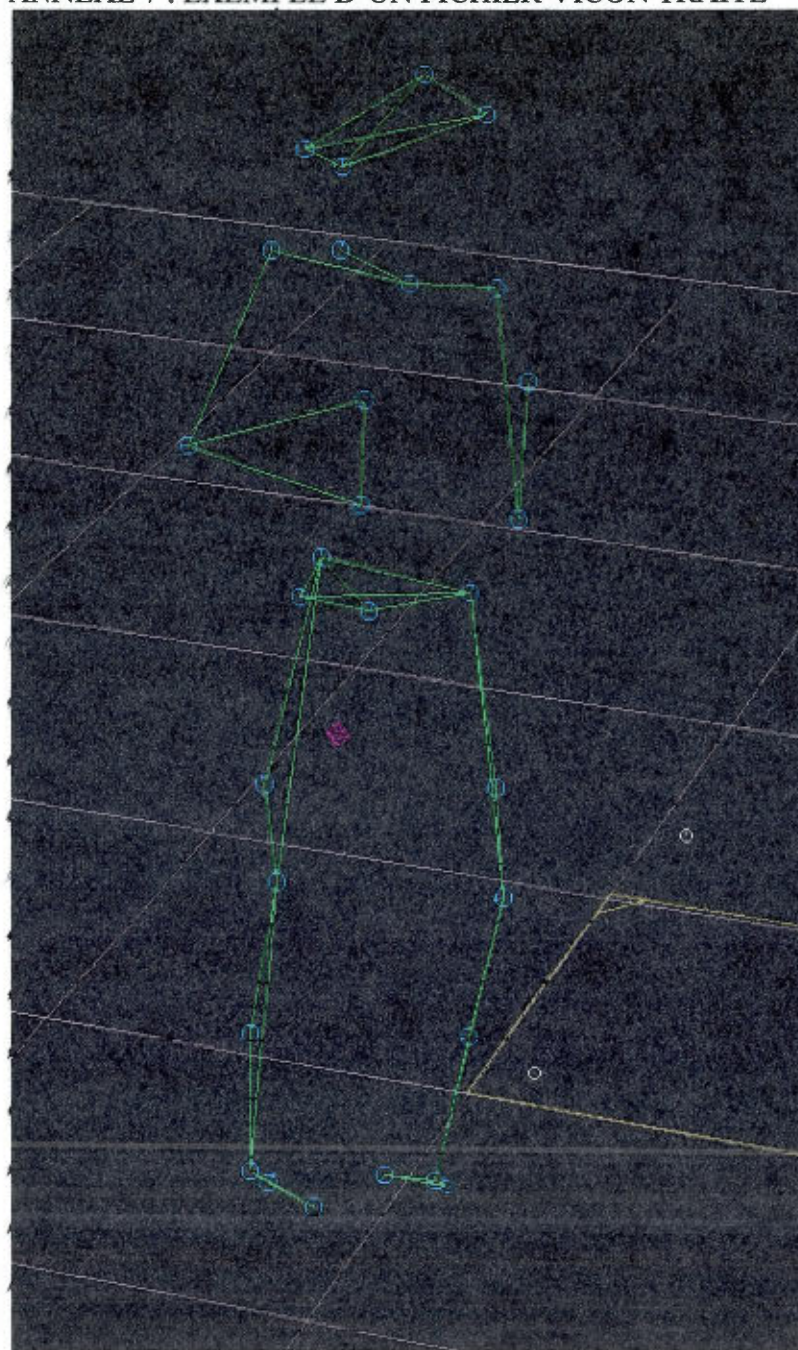
Échelle de Borg		Borg's Scale	
très très facile	6		very, very light
	7		
très facile	8		very light
	9		
assez facile	10		fairly light
	11		
	12		somewhat hard
un peu difficile	13		
	14		hard
difficile	15		
	16		very hard
très difficile	17		
	18		
	19		very, very hard
très très difficile	20		

## ANNEXE 6 : ÉCHELLE MODIFIÉE D'ASHWORTH

MAS (sur 4)	MAS (sur 5)	Descriptif du niveau
0	0	Pas d'hypertonie
1	1	Légère hypertonie avec <i>stretch reflex</i> ou minime résistance en fin de course
1+	2	Hypertonie avec <i>stretch reflex</i> et résistance au cours de la première moitié de la course musculaire autorisée
2	3	Augmentation importante du tonus musculaire durant toute la course musculaire, mais le segment de membre reste facilement mobilisable
3	4	Augmentation considérable du tonus musculaire. Le mouvement passif est difficile
4	5	Hypertonie majeure. Mouvement passif impossible



## ANNEXE 7 : EXEMPLE D'UN FICHER VICON TRAITÉ





## ANNEXE 8 : FEUILLE DE PROTOCOLE

**Protocole Wii**

Date : \_\_\_\_\_

Heure d'arrivée du sujet : \_\_\_\_\_

Numéro fictif : \_\_\_\_\_

**Avant le sujet**

## Matériel

Console Wii	
Balance board	
Le jeu vidéo	
La manette	
Le nunchuk	
Goniomètre	
Dynamomètre portable	
Les marqueurs (30)	
Le cardiofréquence mètre	
Ouvrir les caméras Vicon	
Installer la télévision devant	
Télévision (AV input) (3 mètres)	
Chronomètre	
Batteries	
Meuble	
Reçu	
Échelle de Borg	
Créer un profil pour le sujet	

Grandeur		M
Masse		Kg

**Pendant le sujet**

Signer le consentement	
Changer les vêtements	
Numéro du Polar	
Mettre montre polar	

## Spasticité avec Ashworth modifiée

Cheville	
Genou	

## Amplitude articulaire

	Droite	Gauche	
Flexion plantaire de la cheville			Degrés
Dorsi-flexion de la cheville			Degrés
Flexion du genou			Degrés
Extension du genou			Degrés
Flexion de la hanche			Degrés
Extension de la hanche			Degrés

### Mesure anthropométrique

Longueur membre inf. gauche		Cm
Longueur membre inf. droit		Cm
Largeur genou gauche		Cm
Largeur genou droit		Cm
Largeur cheville gauche		Cm
Largeur cheville droite		Cm

### Test max

	Droite	Gauche
Flexion genou 1 <sup>er</sup> essai		
Flexion genou 2 <sup>ème</sup> essai		
Flexion genou 3 <sup>ème</sup> essai		
Extension genou 1 <sup>er</sup> essai		
Extension genou 2 <sup>ème</sup> essai		
Extension genou 3 <sup>ème</sup> essai		
Dorsi-flexion cheville 1 <sup>er</sup> essai		
Dorsi-flexion cheville 2 <sup>ème</sup> essai		
Dorsi-flexion cheville 3 <sup>ème</sup> essai		
Flexion plantaire cheville 1 <sup>er</sup> essai		
Flexion plantaire cheville 2 <sup>ème</sup> essai		
Flexion plantaire cheville 3 <sup>ème</sup> essai		
Flexion hanche 1 <sup>er</sup> essai		
Flexion hanche 2 <sup>ème</sup> essai		
Flexion hanche 3 <sup>ème</sup> essai		
Extension hanche 1 <sup>er</sup> essai		
Extension hanche 2 <sup>ème</sup> essai		
Extension hanche 3 <sup>ème</sup> essai		

Placement des marqueurs (30)

Repos de 5 minutes

Fréquence cardiaque de repos : \_\_\_\_ Bpm

Capture posture (5 secondes)

Kad	
Statique	

Posture (40 secondes)

Posture YO	
Posture YO	
Posture YO	

Les jeux (10 minutes chaque)

1 <sup>er</sup> jeu	Course à pied
Repos 5 minutes	
Échelle de Borg	
Heure de départ (MP)	
2 <sup>ème</sup> jeu	Ski
Repos 5 minutes	
Échelle de Borg	
Heure de départ (MP)	

3 <sup>ème</sup> jeu	Vélo
Repos 5 minutes	
Échelle de Borg	
Heure de départ (MP)	
4 <sup>ème</sup> jeu	Planche à neige
Repos 5 minutes	
Échelle de Borg	
Heure de départ (MP)	

Spécificité : La personne doit aller à son rythme lors de la course et le vélo

L'enregistrement se fait à toutes les 2 minutes

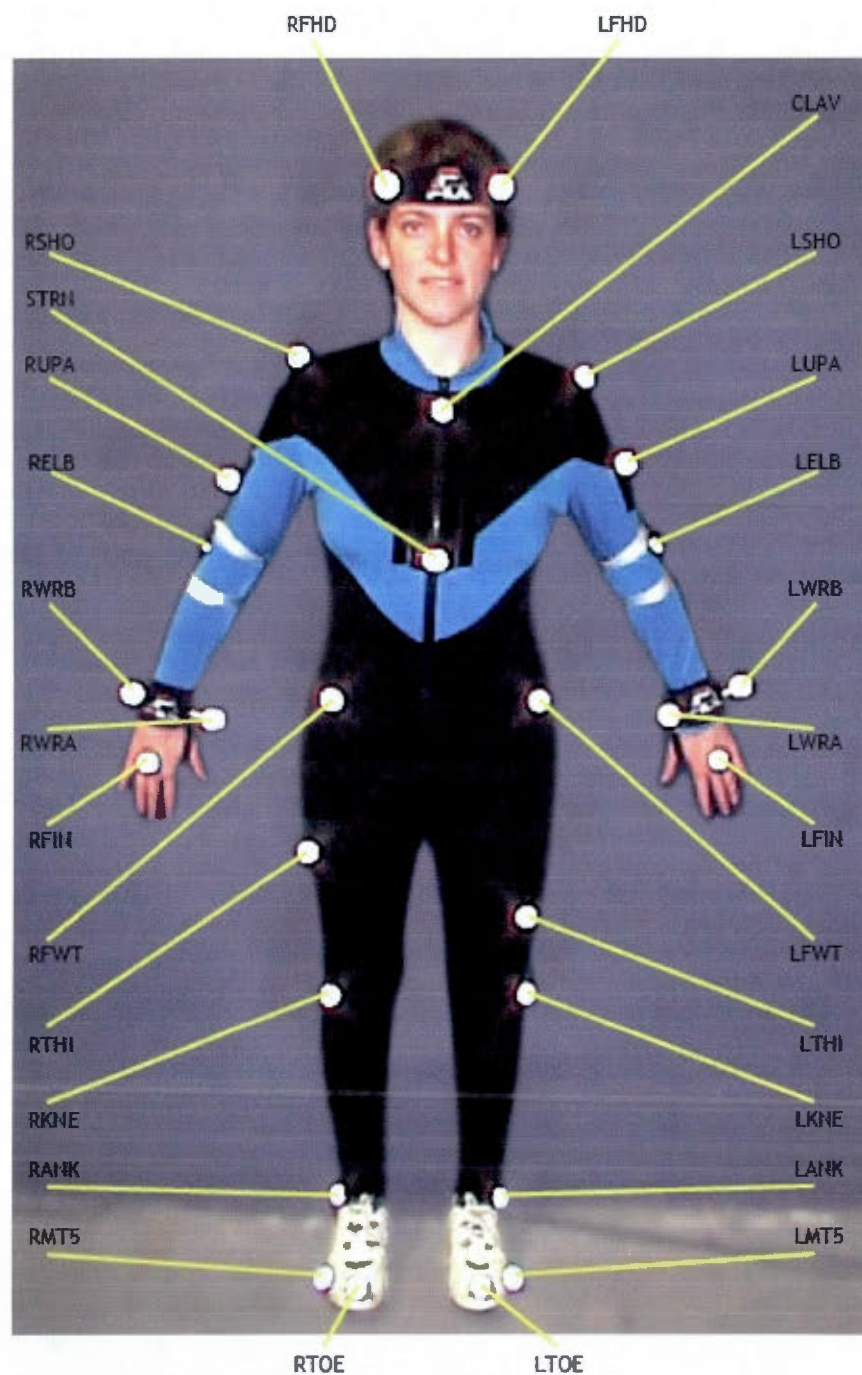
### Évaluation post-fatigue

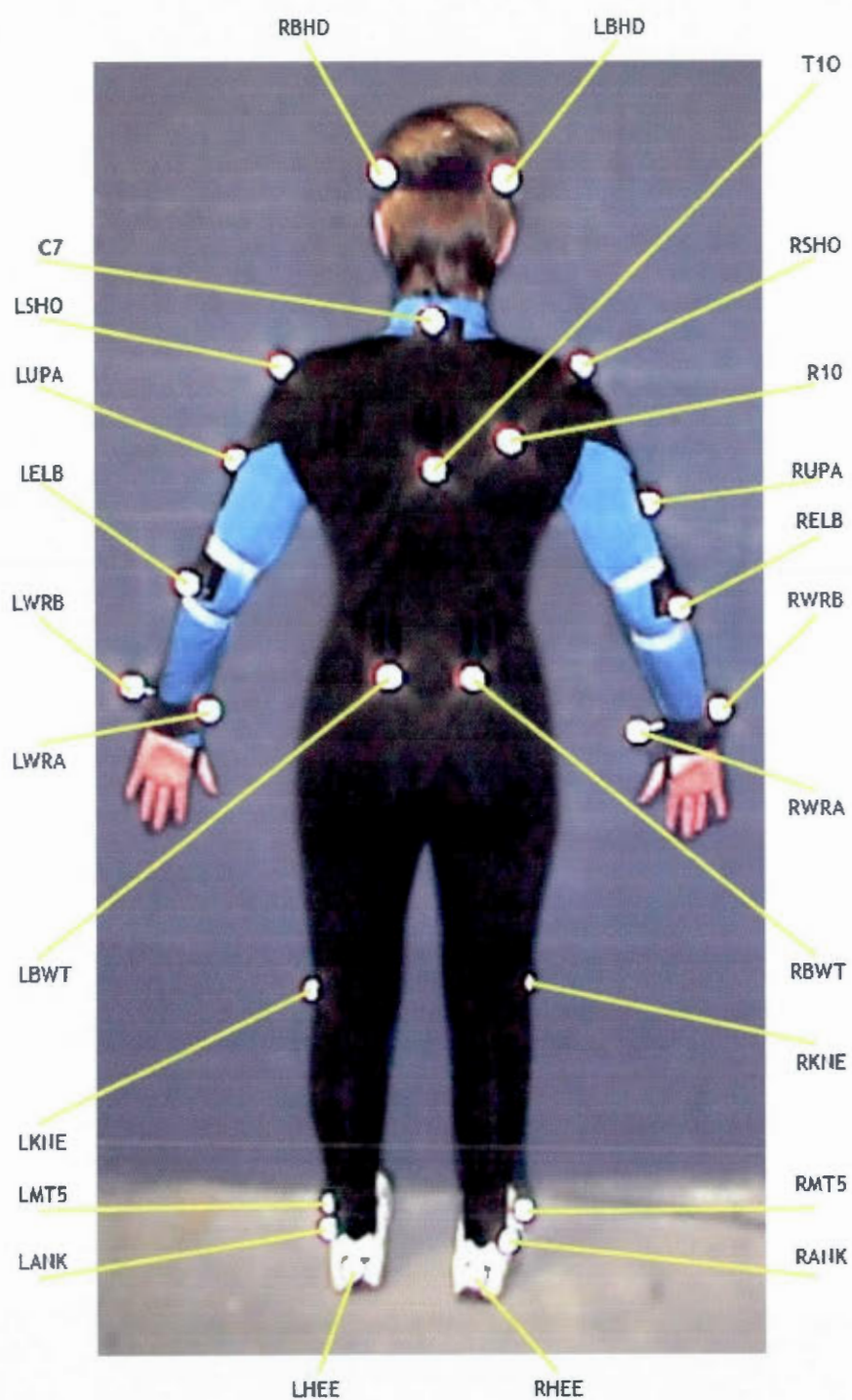
Enlever les marqueurs	
Enlever les EMG	
Enlever la montre polar	
Regarder les batteries	
Ranger le matériel	

Indemnité :

Heure de départ du sujet : \_\_\_\_\_

## ANNEXE 9 : FIGURE DES EMPLACEMENTS DES RÉFLECTEURS







## RÉFÉRENCES

- Abel, M. F., & Damiano, D. L. (1996). Strategies for increasing walking speed in diplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*, 16(6), 753-758.
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med*, 33(7), 517-538.
- Agmon, M., Perry, C. K., Phelan, E., Demiris, G., & Nguyen, H. Q. (2011). A pilot study of Wii Fit exergames to improve balance in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 34(4), 161-167.
- Al Wren, T., Lee, D. C., Kay, R. M., Dorey, F. J., & Gilsanz, V. (2011). Bone density and size in ambulatory children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 53(2), 137-141.
- Balaban, B., Tok, F., Tan, A. K., & Matthews, D. J. (2012). Botulinum toxin a treatment in children with cerebral palsy: its effects on walking and energy expenditure. *Am J Phys Med Rehabil*, 91(1), 53-64.
- Ballaz, L., Plamondon, S., & Lemay, M. (2010). Ankle range of motion is key to gait efficiency in adolescents with cerebral palsy. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 25(9), 944-948.
- Baranowski, T., Abdelsamad, D., Baranowski, J., O'Connor, T. M., Thompson, D., Barnett, A., et al. (2012). Impact of an Active Video Game on Healthy Children's Physical Activity. *Pediatrics*, 129(3), e636-642.
- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, A., Paneth, N., Dan, B., et al. (2005). Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. *Dev Med Child Neurol*, 47(8), 571-576.
- Berry, E. T., Giuliani, C. A., & Damiano, D. L. (2004). Intrasession and intersession reliability of handheld dynamometry in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*, 16(4), 191-198.
- Bialik, G. M., & Givon, U. (2009). [Cerebral palsy: classification and etiology]. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 43(2), 77-80.
- Biddiss, E., & Irwin, J. (2010). Active video games to promote physical activity in children and youth: a systematic review. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 164(7), 664-672.
- Bohannon, R. W., & Smith, M. B. (1987). Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther*, 67(2), 206-207.
- Brown, J. K., Rodda, J., Walsh, E. G., & Wright, G. W. (1991). Neurophysiology of lower-limb function in hemiplegic children. *Dev Med Child Neurol*, 33(12), 1037-1047.
- Butler, Lord, S. R., Rogers, M. W., & Fitzpatrick, R. C. (2008). Muscle weakness impairs the proprioceptive control of human standing. *Brain Res*, 1242, 244-251.
- Butler, Scianni, A., & Ada, L. (2010). Effect of cardiorespiratory training on aerobic fitness and carryover to activity in children with cerebral palsy: a systematic review. *Int J Rehabil Res*, 33(2), 97-103.
- Carlberg, E. B., & Hadders-Algra, M. (2005). Postural dysfunction in children with cerebral palsy: some implications for therapeutic guidance. *Neural Plast*, 12(2-3), 221-228; discussion 263-272.
- Chen, Y. P., Kang, L. J., Chuang, T. Y., Doong, J. L., Lee, S. J., Tsai, M. W., et al. (2007). Use of virtual reality to improve upper-extremity control in children with cerebral palsy: a single-subject design. *Phys Ther*, 87(11), 1441-1457.
- Chin, T. Y., Duncan, J. A., Johnstone, B. R., & Graham, H. K. (2005). Management of the upper limb in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B*, 14(6), 389-404.
- Claassen, A. A., Gorter, J. W., Stewart, D., Verschuren, O., Galuppi, B. E., & Shimmell, L. J. (2011). Becoming and staying physically active in adolescents with cerebral palsy:

- protocol of a qualitative study of facilitators and barriers to physical activity. *BMC Pediatr*, 11, 1.
- Cowley, A. D., & Minnaar, G. (2008). New generation computer games: Watch out for Wii shoulder. *BMJ*, 336(7636), 110.
- Damiano, D. L., & Abel, M. F. (1998). Functional outcomes of strength training in spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 79(2), 119-125.
- de Kloet, A. J., Berger, M. A., Verhoeven, I. M., van Stein Callenfels, K., & Vlieland, T. P. (2012). Gaming supports youth with acquired brain injury? A pilot study. *Brain Inj*, 26(7-8), 1021-1029.
- Desloovere, K., Molenaers, G., Feys, H., Huenaearts, C., Callewaert, B., & Van de Walle, P. (2006). Do dynamic and static clinical measurements correlate with gait analysis parameters in children with cerebral palsy? *Gait Posture*, 24(3), 302-313.
- Deutsch, J. E., Borbely, M., Filler, J., Huhn, K., & Guarrera-Bowlby, P. (2008). Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Phys Ther*, 88(10), 1196-1207.
- Deutsch, J. E., Brettler, A., Smith, C., Welsh, J., John, R., Guarrera-Bowlby, P., et al. (2011). Nintendo wii sports and wii fit game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation. *Top Stroke Rehabil*, 18(6), 701-719.
- DiLorenzo, T. M., Stucky-Ropp, R. C., Vander Wal, J. S., & Gotham, H. J. (1998). Determinants of exercise among children. II. A longitudinal analysis. *Prev Med*, 27(3), 470-477.
- Donker, S. F., Ledebt, A., Roerdink, M., Savelsbergh, G. J., & Beek, P. J. (2008). Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res*, 184(3), 363-370.
- Ferdjallah, M., Harris, G. F., Smith, P., & Wertsch, J. J. (2002). Analysis of postural control synergies during quiet standing in healthy children and children with cerebral palsy. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 17(3), 203-210.
- Fitzgerald, D. A., Follett, J., & Van Asperen, P. P. (2009). Assessing and managing lung disease and sleep disordered breathing in children with cerebral palsy. *Paediatr Respir Rev*, 10(1), 18-24.
- Foley, L., & Maddison, R. (2010). Use of active video games to increase physical activity in children: a (virtual) reality? *Pediatr Exerc Sci*, 22(1), 7-20.
- Fowler, E. G., Kolobe, T. H., Damiano, D. L., Thorpe, D. E., Morgan, D. W., Brunstrom, J. E., et al. (2007). Promotion of physical fitness and prevention of secondary conditions for children with cerebral palsy: section on pediatrics research summit proceedings. *Phys Ther*, 87(11), 1495-1510.
- Fung, V., So, K., Park, E., Ho, A., Shaffer, J., Chan, E., et al. (2010). The utility of a video game system in rehabilitation of burn and nonburn patients: a survey among occupational therapy and physiotherapy practitioners. *J Burn Care Res*, 31(5), 768-775.
- Gage, J. R. (1993). Gait analysis. An essential tool in the treatment of cerebral palsy. *Clin Orthop Relat Res*(288), 126-134.
- Gajdosik, R. L., & Bohannon, R. W. (1987). Clinical measurement of range of motion. Review of goniometry emphasizing reliability and validity. *Phys Ther*, 67(12), 1867-1872.
- George, A. J. (2010). MUSCULO - SKE Wii TAL MEDICINE. *Injury*.
- Getz, M., Hutzler, Y., & Vermeer, A. (2006). Effects of aquatic interventions in children with neuromotor impairments: a systematic review of the literature. *Clin Rehabil*, 20(11), 927-936.



- Goh, H. T., Thompson, M., Huang, W. B., & Schafer, S. (2006). Relationships among measures of knee musculoskeletal impairments, gross motor function, and walking efficiency in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*, 18(4), 253-261.
- Graf, D. L., Pratt, L. V., Hester, C. N., & Short, K. R. (2009). Playing active video games increases energy expenditure in children. *Pediatrics*, 124(2), 534-540.
- Graves, L., Stratton, G., Ridgers, N. D., & Cable, N. T. (2007). Comparison of energy expenditure in adolescents when playing new generation and sedentary computer games: cross sectional study. *BMJ*, 335(7633), 1282-1284.
- Graves, L. E., Ridgers, N. D., Williams, K., Stratton, G., Atkinson, G., & Cable, N. T. (2010). The physiological cost and enjoyment of Wii Fit in adolescents, young adults, and older adults. *J Phys Act Health*, 7(3), 393-401.
- Gunel, M. K., Mutlu, A., Tarsuslu, T., & Livanelioglu, A. (2009). Relationship among the Manual Ability Classification System (MACS), the Gross Motor Function Classification System (GMFCS), and the functional status (WeeFIM) in children with spastic cerebral palsy. *Eur J Pediatr*, 168(4), 477-485.
- Haak, P., Lenski, M., Hidecker, M. J., Li, M., & Paneth, N. (2009). Cerebral palsy and aging. *Dev Med Child Neurol*, 51 Suppl 4, 16-23.
- Himpens, E., Van den Broeck, C., Oostra, A., Calders, P., & Vanhaesebrouck, P. (2008). Prevalence, type, distribution, and severity of cerebral palsy in relation to gestational age: a meta-analytic review. *Dev Med Child Neurol*, 50(5), 334-340.
- Howcroft, J., Klejman, S., Fehlings, D., Wright, V., Zabjek, K., Andrysek, J., et al. (2012). Active video game play in children with cerebral palsy: potential for physical activity promotion and rehabilitation therapies. *Arch Phys Med Rehabil*, 93(8), 1448-1456.
- Hurkmans, H. L., van den Berg-Emons, R. J., & Stam, H. J. (2010). Energy expenditure in adults with cerebral palsy playing Wii Sports. *Arch Phys Med Rehabil*, 91(10), 1577-1581.
- Hutton, J. L., & Pharoah, P. O. (2002). Effects of cognitive, motor, and sensory disabilities on survival in cerebral palsy. *Arch Dis Child*, 86(2), 84-89.
- Imms, C. (2008). Children with cerebral palsy participate: a review of the literature. *Disabil Rehabil*, 30(24), 1867-1884.
- Johnston, M. V., & Hoon, A. H., Jr. (2006). Cerebral palsy. *Neuromolecular Med*, 8(4), 435-450.
- Jones, M. W., Morgan, E., & Shelton, J. E. (2007). Primary care of the child with cerebral palsy: a review of systems (part II). *J Pediatr Health Care*, 21(4), 226-237.
- Jones, M. W., Morgan, E., Shelton, J. E., & Thorogood, C. (2007). Cerebral palsy: introduction and diagnosis (part I). *J Pediatr Health Care*, 21(3), 146-152.
- Kelly, M., & Darrah, J. (2005). Aquatic exercise for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 47(12), 838-842.
- Krigger, K. W. (2006). Cerebral palsy: an overview. *Am Fam Physician*, 73(1), 91-100.
- Lanningham-Foster, L., Foster, R. C., McCrady, S. K., Jensen, T. B., Mitre, N., & Levine, J. A. (2009). Activity-promoting video games and increased energy expenditure. *J Pediatr*, 154(6), 819-823.
- LaViola, J. J., Jr. (2008). Bringing VR and spatial 3D interaction to the masses through video games. *IEEE Comput Graph Appl*, 28(5), 10-15.
- Leung, M. L., Chung, P. K., & Leung, R. W. (2002). An assessment of the validity and reliability of two perceived exertion rating scales among Hong Kong children. *Percept Mot Skills*, 95(3 Pt 2), 1047-1062.

- Levac, D., Pierrynowski, M. R., Canestraro, M., Gurr, L., Leonard, L., & Neeley, C. (2010). Exploring children's movement characteristics during virtual reality video game play. *Hum Mov Sci*.
- Liao, H. F., Jeng, S. F., Lai, J. S., Cheng, C. K., & Hu, M. H. (1997). The relation between standing balance and walking function in children with spastic diplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 39(2), 106-112.
- Machado, F. A., & Denadai, B. S. (2011). Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arq Bras Cardiol*, 97(2), 136-140.
- Maher, C. A., Williams, M. T., Olds, T., & Lane, A. E. (2007). Physical and sedentary activity in adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 49(6), 450-457.
- Mahon, A. D., Marjerrison, A. D., Lee, J. D., Woodruff, M. E., & Hanna, L. E. (2010). Evaluating the prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Res Q Exerc Sport*, 81(4), 466-471.
- Maltais, D., Wilk, B., Unnithan, V., & Bar-Or, O. (2004). Responses of children with cerebral palsy to treadmill walking exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 36(10), 1674-1681.
- Maltais, D. B., Pierrynowski, M. R., Galea, V. A., Matsuzaka, A., & Bar-Or, O. (2005). Habitual physical activity levels are associated with biomechanical walking economy in children with cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil*, 84(1), 36-45.
- Marshall, S. J., Gorely, T., & Biddle, S. J. (2006). A descriptive epidemiology of screen-based media use in youth: a review and critique. *J Adolesc*, 29(3), 333-349.
- Martin, L., Baker, R., & Harvey, A. (2010). A systematic review of common physiotherapy interventions in school-aged children with cerebral palsy. *Phys Occup Ther Pediatr*, 30(4), 294-312.
- McNevin, N. H., Coraci, L., & Schafer, J. (2000). Gait in adolescent cerebral palsy: the effect of partial unweighting. *Arch Phys Med Rehabil*, 81(4), 525-528.
- Minear, W. L. (1956). A classification of cerebral palsy. *Pediatrics*, 18(5), 841-852.
- Miyachi, M., Yamamoto, K., Ohkawara, K., & Tanaka, S. (2010). METs in adults while playing active video games: a metabolic chamber study. *Med Sci Sports Exerc*, 42(6), 1149-1153.
- Mockford, M., & Caulton, J. M. (2008). Systematic review of progressive strength training in children and adolescents with cerebral palsy who are ambulatory. *Pediatr Phys Ther*, 20(4), 318-333.
- Mockford, M., & Caulton, J. M. (2010). The pathophysiological basis of weakness in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*, 22(2), 222-233.
- Mutlu, A., Livanelioglu, A., & Gunel, M. K. (2007). Reliability of goniometric measurements in children with spastic cerebral palsy. *Med Sci Monit*, 13(7), CR323-329.
- Mutlu, A., Livanelioglu, A., & Gunel, M. K. (2008). Reliability of Ashworth and Modified Ashworth scales in children with spastic cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord*, 9, 44.
- Nitz, J. C., Kuys, S., Isles, R., & Fu, S. (2010). Is the Wii Fit a new-generation tool for improving balance, health and well-being? A pilot study. *Climacteric*, 13(5), 487-491.
- O'Shea, T. M. (2008). Diagnosis, treatment, and prevention of cerebral palsy. *Clin Obstet Gynecol*, 51(4), 816-828.
- Palisano, Hanna, S. E., Rosenbaum, P. L., & Tieman, B. (2010). Probability of walking, wheeled mobility, and assisted mobility in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 52(1), 66-71.

- Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E., & Galuppi, B. (1997). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 39(4), 214-223.
- Paneth, N., Hong, T., & Korzeniewski, S. (2006). The descriptive epidemiology of cerebral palsy. *Clin Perinatol*, 33(2), 251-267.
- Penko, A. L., & Barkley, J. E. (2010). Motivation and physiologic responses of playing a physically interactive video game relative to a sedentary alternative in children. *Ann Behav Med*, 39(2), 162-169.
- Portney, L., & Watkins, M. (2003). *Foundations of clinical research applications to practice* (2nd ed.). Connecticut: Appleton & Lange.
- Reid, D. (2004). The influence of virtual reality on playfulness in children with cerebral palsy: a pilot study. *Occup Ther Int*, 11(3), 131-144.
- Reid, S. M., Modak, M. B., Berkowitz, R. G., & Reddihough, D. S. (2011). A population-based study and systematic review of hearing loss in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 53(11), 1038-1045.
- Reilly, D. S., Woollacott, M. H., van Donkelaar, P., & Saavedra, S. (2008). The interaction between executive attention and postural control in dual-task conditions: children with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(5), 834-842.
- Retarekar, R., Fragala-Pinkham, M. A., & Townsend, E. L. (2009). Effects of aquatic aerobic exercise for a child with cerebral palsy: single-subject design. *Pediatr Phys Ther*, 21(4), 336-344.
- Rimmer, J. H. (2005). Exercise and physical activity in persons aging with a physical disability. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 16(1), 41-56.
- Roemmich, J. N., Barkley, J. E., Lobarinas, C. L., Foster, J. H., White, T. M., & Epstein, L. H. (2008). Association of liking and reinforcing value with children's physical activity. *Physiol Behav*, 93(4-5), 1011-1018.
- Rogers, A., Furler, B. L., Brinks, S., & Darrah, J. (2008). A systematic review of the effectiveness of aerobic exercise interventions for children with cerebral palsy: an AACPD evidence report. *Dev Med Child Neurol*, 50(11), 808-814.
- Rose, J., Gamble, J. G., Burgos, A., Medeiros, J., & Haskell, W. L. (1990). Energy expenditure index of walking for normal children and for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 32(4), 333-340.
- Rose, J., Wolff, D. R., Jones, V. K., Bloch, D. A., Oehlert, J. W., & Gamble, J. G. (2002). Postural balance in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 44(1), 58-63.
- Rosen, S., Tucker, C. A., & Lee, S. C. (2006). Gait energy efficiency in children with cerebral palsy. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 1, 1220-1223.
- Rosenbaum, P. (2003). Cerebral palsy: what parents and doctors want to know. *BMJ*, 326(7396), 970-974.
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D., et al. (2007). A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Dev Med Child Neurol Suppl*, 109, 8-14.
- Sallis, J. F. (2000). Age-related decline in physical activity: a synthesis of human and animal studies. *Med Sci Sports Exerc*, 32(9), 1598-1600.
- Sankar, C., & Mundkur, N. (2005). Cerebral palsy-definition, classification, etiology and early diagnosis. *Indian J Pediatr*, 72(10), 865-868.

- Scholtes, V. A., Becher, J. G., Beelen, A., & Lankhorst, G. J. (2006). Clinical assessment of spasticity in children with cerebral palsy: a critical review of available instruments. *Dev Med Child Neurol*, 48(1), 64-73.
- Schultheis, M. T., Himmelstein, J., & Rizzo, A. A. (2002). Virtual reality and neuropsychology: upgrading the current tools. *J Head Trauma Rehabil*, 17(5), 378-394.
- Shevell, M. I., Dagenais, L., & Hall, N. (2009). The relationship of cerebral palsy subtype and functional motor impairment: a population-based study. *Dev Med Child Neurol*, 51(11), 872-877.
- Shih, C. H., Shih, C. T., & Chiang, M. S. (2010). A new standing posture detector to enable people with multiple disabilities to control environmental stimulation by changing their standing posture through a commercial Wii Balance Board. *Res Dev Disabil*, 31(1), 281-286.
- Shortland, A. (2009). Muscle deficits in cerebral palsy and early loss of mobility: can we learn something from our elders? *Dev Med Child Neurol*, 51 Suppl 4, 59-63.
- Shumway-Cook, A., Hutchinson, S., Kartin, D., Price, R., & Woollacott, M. (2003). Effect of balance training on recovery of stability in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 45(9), 591-602.
- Snider, L., & Majnemer, A. (2010). Virtual reality: we are virtually there. *Phys Occup Ther Pediatr*, 30(1), 1-3.
- Snider, L., Majnemer, A., & Darsaklis, V. (2010). Virtual reality as a therapeutic modality for children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil*, 13(2), 120-128.
- Sternic, N., Mijajlovic, M., Tomic, G., & Pavlovic, A. (2012). Dysarthria and mutism. *Front Neurol Neurosci*, 30, 83-85.
- Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B., et al. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *J Pediatr*, 146(6), 732-737.
- Taylor, N. F., Dodd, K. J., & Graham, H. K. (2004). Test-retest reliability of hand-held dynamometric strength testing in young people with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(1), 77-80.
- van den Berg-Emons, H. J., Saris, W. H., de Barbanson, D. C., Westerterp, K. R., Huson, A., & van Baak, M. A. (1995). Daily physical activity of schoolchildren with spastic diplegia and of healthy control subjects. *J Pediatr*, 127(4), 578-584.
- Van den Berg-Emons, R. J., Saris, W. H., Westerterp, K. R., & van Baak, M. A. (1996). Heart rate monitoring to assess energy expenditure in children with reduced physical activity. *Med Sci Sports Exerc*, 28(4), 496-501.
- Verschuren, O., Ketelaar, M., Takken, T., Helders, P. J., & Gorter, J. W. (2008). Exercise programs for children with cerebral palsy: a systematic review of the literature. *Am J Phys Med Rehabil*, 87(5), 404-417.
- Verschuren, O., Maltais, D. B., & Takken, T. (2011). The 220-age equation does not predict maximum heart rate in children and adolescents. *Dev Med Child Neurol*, 53(9), 861-864.
- Verschuren, O., & Takken, T. (2010). Aerobic capacity in children and adolescents with cerebral palsy. *Res Dev Disabil*, 31(6), 1352-1357.
- Waters, R. L., & Mulroy, S. (1999). The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture*, 9(3), 207-231.
- White, K., Schofield, G., & Kilding, A. E. (2011). Energy expended by boys playing active video games. *J Sci Med Sport*, 14(2), 130-134.

- Wind, W. M., Schwend, R. M., & Larson, J. (2004). Sports for the physically challenged child. *J Am Acad Orthop Surg*, 12(2), 126-137.
- Woollacott, M., Shumway-Cook, A., Hutchinson, S., Ciol, M., Price, R., & Kartin, D. (2005). Effect of balance training on muscle activity used in recovery of stability in children with cerebral palsy: a pilot study. *Dev Med Child Neurol*, 47(7), 455-461.
- Worley, J. R., Rogers, S. N., & Kraemer, R. R. (2011). Metabolic responses to wii fit video games at different game levels. *J Strength Cond Res*, 25(3), 689-693.
- Wuang, Y. P., Chiang, C. S., Su, C. Y., & Wang, C. C. (2011). Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in children with Down syndrome. *Res Dev Disabil*, 32(1), 312-321.
- Young, W., Ferguson, S., Brault, S., & Craig, C. (2010). Assessing and training standing balance in older adults: A novel approach using the 'Nintendo Wii' Balance Board. *Gait Posture*.